RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 1

INFORME DTG - PRUEBAS METALURGICAS

ELECTRICITE DE FRANCE

EDF INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honoré
75008 PARIS
Tél 764.22.22
Telex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

ANEXO I

MISION DE CONTROL

DEL SERVICIO "PRUEBAS METALURGICAS"

EN EL GRUPO nº 4

DE LA USINA HIDROELECTRICA

G. TERRA - URUGUAY

RESUMEN DEL PROGRAMA DE CONTROL CONTEMPLADO

1 - TUBO DE ADUCCION

- Examen visual del blindaje
- Mediciones de espesor del blindaje
- Examen y control de los remaches
- Examen de las zonas de conexión de los elementos del blindaje y del agujero para paso de hombre
- Examen de las zonas de anclaje
- Examen de los fuelles de conexión

2 - CAJA ESPIRAL - DISTRIBUIDOR

- Examen visual del blindaje
- Mediciones de espesor del blindaje
- Examen y control de los remaches
- Examen de la conexión de los elementos ensamblados
- Examen de las aristas de entrada y de salida de las directrices móviles, y de los acordamientos de los muñones
- Examen de las directrices fijas, de la bocina de cámara espiral, de los anillos de enlace con el techo y con la solera del distribuidor
- Examen de la conexión de los órganos de descarga

3 - RODETE DE TURBINA Y ANILLO DE GARGANTA

- Examen de los bordes de escape y de entrada de las palas del rodete

- Examen de las zonas recargadas

- Examen de los muñones y de la conexión de las palas con los muñones

- Examen del anillo de garganta desde el distribuidor hasta la conexión con el aspirador

4 - ASPIRADOR

- Examen del blindaje

- Medición del espesor del blindaje

- Examen y control de los remaches

- Examen del anclaje de la puerta de acceso, del tubo de descarga

- Examen de la conexión del blindaje con el techo y la solera del difusor

5 - EJE

- Examen de los acordamientos de conexión de los planos de acoplamiento, de los cambios de sección

6 - ORGANOS DE SEGURIDAD

- Examen de los ganchos de los puentes grúa

7 - INFORMACIONES RELATIVAS A LAS TECNICAS DE CONTROL

INFORME DE LOS EXAMENES

Y CONTROLES EFECTUADOS

1. TUBO DE ADUCCION

1.1 CONDUCTO Y CAJA ESPIRAL

1.2 JUNTAS DE DILATACION

1.3 AGUJERO PARA PASO DE HOMBRE

1.4 REMACHES DE ENSAMBLADURA

1.5 CONCLUSION

1.1 TUBO DE ADUCCION (Fotografías nº 1 y 2)

Controles efectuados

1.1.1 Examen visual

1.1.2 Medición de espesor del blindaje por sistema ultrasónico

1.1.3 Control de los remaches por sistema ultrasónico

Resultados

1.1.1 En el interior y en la parte superior del tubo, aparecen pústulas de oxidación en el revestimiento asfáltico, que se encuentran, por otra parte, en excelente estado (espesor de promedio medido 500µ).

No se aprecia ningún vestigio de erosión en las partes del blindaje en saliente ni en las cabezas de remache.

El recubrimiento de los distintos elementos componentes del blindaje está perfectamente realizado en la totalidad del tubo, hasta la conexión con los anillos superior e inferior del distribuidor.

Por el exterior, la pintura metalizada que recubre el tubo, se encuentra en buen estado.

En las zonas más húmedas. y concretamente en las cercanías del paramento de aguas abajo de la presa aparecen vestigios de depósitos vegetales.

1.1.2 La medición del espesor del blindaje no ha revelado ninguna anomalía. Los valores medios en 20 puntos, desde la entrada guardan conformidad con los espesores indicados en el plano (precisión 5/10 mm). Los valores de promedio de los espesores medidos se elevan respectivamente a 21,5 y 27 mm.

1.1.3 El control se ha referido a 60 remaches repartidos según las leyes del azar. Unicamente uno de ellos señalan una indicación no conforme (1 = 53 mm para un valor de promedio de 85). Este remache se sitúa en el empalme del tubo y de la caja espiral, en la parte inferior, a 7 m a continuación del agujero para paso de hombre.

Esta zona se encuentra bloqueada en el hormigón.

Conclusión

Esta parte de la instalación parece sana, aun cuando el mantenimiento del revestimiento en el interior del tubo parece preciso contemplar (véase el Anexo VII - Revestimientos anticorrosión).

1.2 JUNTAS DE DILATACION

(Fotografías nºs 3-4-5-6-7-8-9)

Controles efectuados

1.2.1 Examen visual

1.2.2 Medición de los espesores de blindaje por sistema ultrasónico

1.2.3 Control de los remaches por sistema ultrasónico

Resultados

1.2.1 El examen se ha referido a la junta de aguas abajo, accesible por medio de un andamio izado a la perpendicular de la sección de medida de caudal por molinetes, sobre una longitud de 4 m aproximadamente en la parte superior del tubo, en la zona no recubierta por un guía de agua.

La separación sumamente reducida entre las dos partes laterales flexibles, no permite proceder a una inspección muy a fondo. No obstante, el examen visual deja ver una importante oxidación y la ausencia total de revestimiento protector.

Las pústulas de oxidación (fotografías nºs 5 y 6) de forma semiesférica de 30 a 40 mm de diámetro, recubren la totalidad de la superficie interna de la junta.

El examen por medio de un espejo orientable de la unión de los elementos laterales y de la tapa permite suponer que no existe ninguna junta de hermeticidad (sello) entre estos diversos elementos y que la oxidación puede de este modo alcanzar el cuerpo de los remaches y poner en tela de juicio su integridad.

En cambio, el enlace con el blindaje del tubo se encuentra perfectamente obtenido (fotografía nº 8).

1.2.2 La medición de los espesores, efectuada desde el exterior, no presenta ninguna anomalía ni tampoco ningún "adelgazamiento" de las chapas. Los valores registrados corresponden a los espesores indicados en los planos (precisión ±5/10 mm).

1.2.3 La longitud media de los remaches, controlada en 40 de los mismos repartidos según las leyes del azar es de 89 mm (±5/10 mm). No se ha observado ningún vestigio de erosión ni en el blindaje ni en las cabezas de remaches.

Conclusión

La importancia y el estado actual de estos elementos elásticos, de importancia primordial para el comportamiento del tubo de aducción, imponen en breve plazo una rehabilitación

completa de la cavidad interna de las juntas, que requiere la aplicación de un decapado por chorro de arena especialmente estudiado para poder alcanzar la totalidad de la superficie, seguida de la aplicación de una importante capa de revestimiento asfáltico sobre un fondo anticorrosivo.

La adecuación de las entradas de agua, normalmente dispuestas sobre el contorno de los guías de agua que recubren los fuelles, debería permitir una agitación en el interior de las juntas y, de este modo, se evitaría en el porvenir la importante corrosión provocada por el agua estancada.

El examen de la fotografía nº 4 hace resaltar este fenómeno; la cara de junta que hace frente a las corrientes de agua (C) no señala ninguna oxidación, y ello a pesar de la inexistencia de revestimiento y de erosión.

1.3 AGUJERO PARA PASO DE HOMBRE (fotografía nº 10)

Controles efectuados:

1.3.1 Examen visual

1.3.2 Medición del espesor del blindaje por sistema ultrasónico

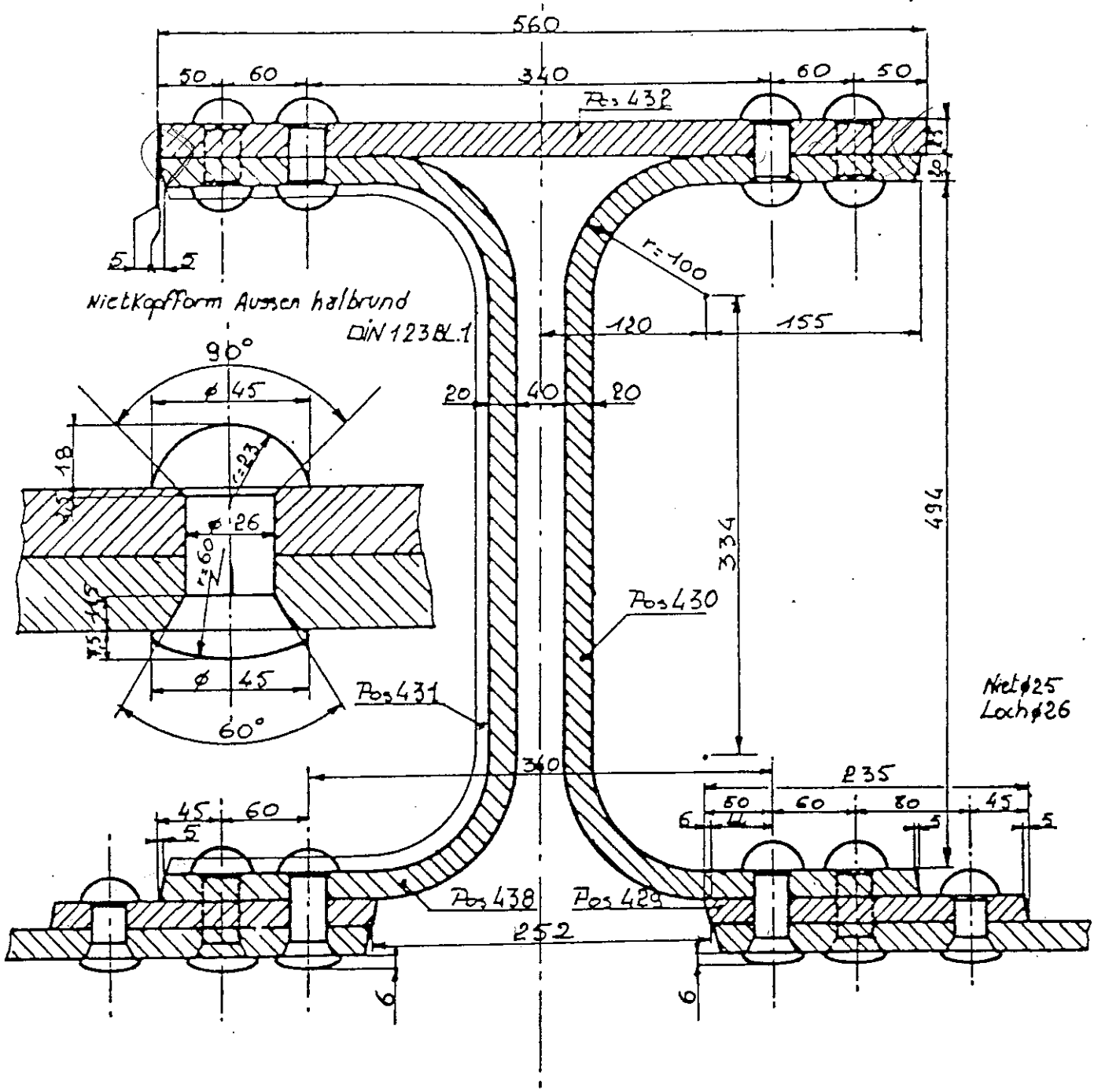
1.3.3 Control de los remaches

1.3.4 Control de los ejes, de las horquillas y de los tornillos de fijación

Resultados

1.3.1 Unicamente se ha controlado en totalidad el agujero para paso de hombre superior situado aguas abajo.

El examen visual de las paredes laterales de la tapa y del blindaje señala una importante oxidación y la total inexistencia de revestimiento protector.



Seccion transversal de la junta de dilatación

| | | |

Por el exterior, en torno de su implantación, la pintura se encuentra degradada debido a las intervenciones requeridas por sus operaciones de apertura y cierre.

El recubrimiento de los blindajes se encuentra perfectamente obtenido.

El roscado de los vástagos articulados que sirven para la fijación de la tapa, se encuentra oxidado y sus ejes desprovistos de lubricación.

1.3.2 La medición del espesor de los blindajes no ha hecho resaltar ninguna anomalía. Los valores de promedio de las mediciones guardan conformidad con aquellos mencionados en el plano.

1.3.3 Se ha procedido al control, sin haber comprobado ninguna anomalía, de la totalidad de los remaches que sujetan el agujero para paso de hombre al tubo. La longitud media medida con ± 5/10 mm es de 81 mm.

1.3.4 El control del eje y de las horquillas que forman la articulación de la tapa, así como también aquél de los vástagos roscados, de las horquillas y de los ejes de las fijaciones no ha permitido observar ninguna anomalía.

Cabe tener en cuenta que los vástagos roscados van soldados en extremo, sobre el elemento de articulación.

Conclusión

El estado mecánico de este órgano es satisfactorio. No obstante, se debería proceder al examen de los revestimientos y, proyectar la lubricación de los órganos de maniobra y fijación .

2. CAJA ESPIRAL - DISTRIBUIDOR

(Fotografías de 11 a 21)

2.1 BLINDAJE

2.2 DISTRIBUIDOR

2.2 DIRECTRICES

2.4 CONCLUSION

2.1 BLINDAJE

Controles realizados

2.1.1 Examen visual

2.2.2 Mediciones del espesor del blindaje

2.2.3 Control de los remaches

Resultados

2.1.1 El examen visual ha permitido comprobar el excelente estado en que se encuentra esta parte de la instalación.

El revestimiento no acusa ningún deterioro importante ni sistemático (espesor medio medido: 500 µ).

El recubrimiento de los elementos remachados se encuentra en perfecto estado y no se observa ningún vestigio de erosión en las partes del blindaje en saliente ni en las cabezas de remache

No obstante, la fotografía nº 15 permite comprobar algunas pústulas de oxidación en el diámetro exterior de la caja espiral, en las cercanías de la toma de presión que sirve para el control piezométrico de los caudales (W.K.). Por el lado correspondiente al distribuidor (fotografía nº 14) el estado es perfecto así como la conexión con el distribuidor.

No se aprecia visualmente ningún rezume de agua.

2.1.2 } No se ha detectado ninguna anomalía con motivo de la medi-
2.1.3 } ción de los espesores y el control de los remaches.

Conclusión

Salvo algunos retoques que será preciso efectuar en el revestimiento, se puede declarar perfectamente satisfactorio el estado de la caja espiral.

2.2 DISTRIBUCION

2.2.1 Anillo superior e inferior del distribuidor (fotografías nos 19-20-21)

2.2.2 Antedirectrices

2.2.3 Directrices móviles (fotografías nos 12 a 18)

2.2.4 Conclusión

Controles efectuados

Examen visual

Resultados

2.2.1 Anillos del distribuidor

El examen visual permite constatar el perfecto estado de estos elementos.

No se aprecia visualmente ningún vestigio de erosión, de oxidación, de corrosión ni de fricción. Las fotografías hacen resaltar el estado de conservación excepcional de la capa de pintura antioxidante que, verosímilmente, es de origen pero que atestigua el excelente estado de estos órganos. Los aros de bronce sobre los cuales giran las directrices móviles no acusan ningún desgaste aparente y las aristas se encuentran intactas.

Se aprecia un ligero vestigio de infiltración en la unión de los elementos del anillo superior (fotografía nº 19). El costero inferior y las espigas de fijación se encuentran intactas.

2.2.2 Lo mismo que ocurre con el distribuidor, se puede decir de las antedirectrices que se encuentran en perfecto estado en su totalidad. No se aprecia visualmente ningún vestigio de oxidación ni de erosión, tanto en los frentes como en las aristas de entrada y salida de los alames.

2.2.3 Las directrices móviles (fotografías nºs 16-17-18) se encuentran en perfecto estado.

El borde de ataque no acusa ningún vestigio de desgaste y la arista de escape, recargada de origen, lleva las trazas de fricción que atestiguan la perfecta coincidencia de los puntos de apoyo cuando se cierra el sistema de distribución. No se aprecia visualmente ningún vestigio de desgaste o de cavitación.

A pesar de que la misma sobresale ligeramente en el interior del anillo inferior, la base de la arista de las directrices no señala ningún vestigio de cavitación, así como tampoco el anillo inferior.

El examen efectuado por líquido penetrante (resudación) realizado en la arista de salida la parte accesible de la conexión con el muñon de las directrices móviles no acusa ninguna fisuración (fotografías nºs 12 y 13).

2.2.4 Conclusión

Se puede decir, que en totalidad, el distribuidor se encuentra en perfecto estado.

3. RODETE DE TURBINA - ANILLO DE GARGANTA

3.1 PALAS

3.2 INTERVENCION EN LAS PALAS

3.3 ANILLO DE GARGANTA

3.4 CONCLUSION

3.1 PALAS (fotografías nºs 22 a 48)

3.1.1 Recargas (22 a 27)

3.1.2 Arista de salida (34 a 39)

3.1.3 Arista de entrada (28 a 33)

3.1.4 Conexión con el muñon (40 a 47)

Control efectuado

3.1.1 a 3.1.4 Examen por líquido penetrante (resudación) de la totalidad de la superficie de recarga.

Resultados

3.1.1.1 El control por líquido penetrante no ha permitido detectar ninguna fisuración por lo que se refiere a las recargas.

En todas las partes recargadas se aprecian visiblemente numerosas picaduras de 1 a 4 mm, así como los cordones de soldadura mal enrasados y mal unidos.

En las superficies extradós en salida de agua persisten algunos vestigios de cavitación.

3.1.2.1 Las aristas de salida de las seis palas se encuentran totalmente recargadas. El examen por líquido penetrante únicamente ha permitido detectar imperfecciones de soldadura y, fundamentalmente, picaduras y zonas de cavitación pesistentes en el borde de fuga y el frente lateral lado cubierta (fotografía nº 34) sobre una distancia de 100 a 150 mm a partir de este borde de fuga.

No se ha detectado tampoco una indicación de fisuración.

Las aristas de salida no se han redondeado, lo cual provoca por lo general una ligera cavitación del borde inferior extradós (fotografía 34).

3.1.3.1 El examen por líquido penetrante de las aristas de entrada no acusa ninguna fisuración en las recargas, pero como así ocurre para todas estas recargas, se observan en todas las palas defectos de soldadura (picaduras, falta de solape (recubrimiento)).

3.1.4.1 La conección de las palas con los muñones se ha obtenido sin acordamientos de empalme. El examen por líquido penetrante ha permitido evidenciar, en esta zona, pequeñas grietas en las palas que llevan la referencia C y F, así como una fisura de 35 mm situada a 95 mm del pivote en la cola de la pala -A- lado extradós (fotografías 45-46).

El origen de la fisuración corresponde a importantes defectos en la recarga del frente lateral de la cola de palas (esta recarga se ha efectuado estando las palas montadas).

3.2 (Véase en 9.A - INTERVENCION EN LAS PALAS)

3.3 ANILLO DE GARGANTA (fotografías nºs 49 a 65)

Controles efectuados

3.3.1 Examen visual

3.3.2 Examen por líquido penetrante de la totalidad de la superficie comprendida entre el anillo inferior del distribuidor y el blindaje de la aspiradora.

3.3.1.1 El examen visual permite observar una recarga de acero inoxidable por depósitos de soldadura en la parte inferior de la semianillo esférica hasta su empalme con el blindaje del aspirador.

Se pueden observar numerosos defectos de soldadura (picaduras, falta de solape y falta de preparación del metal básico) (fotografías nºs 49 y 50). También se producen en gran número de estos defectos rezumes e incluso flujos de agua (fotografía nº 51 y fotografía nº 61). Cabe tener en cuenta que, a pesar que el grupo se encuentra sin contacto con el agua desde hace 21 días se sigue prosiguiendo el rezume observado.

3.3.2.1 El examen por líquido penetrante confirma las observaciones visuales y permite también observar:

a) la alineación de las picaduras y otros defectos que delimitan la soldadura (S_2) que conecta las dos partes de la cubierta esférica (fotografías nºs 62-63-64).

b) Las picaduras y fisuraciones de algunos milímetros a algunos centímetros, en la soldadura (S_4) que conecta el ala de la placa de base con el blindaje del aspirador y ello a pesar de la recarga que la recubre casi en totalidad.

La recarga propiamente dicha acusa múltiples defectos en la totalidad de su superficie.

La fotografía nº 65 permite apreciar los defectos que materializan las soldaduras:

- S_1 anillo inferior anillo cilíndrico o cubierta

- S_2 anillo cilíndrico, semianillo esférico superior

No se ha detectado ninguna fisuración en las soldaduras S_1 - S_2.

3.4 CONCLUSION

3.4.1 Palas

Las operaciones de consolidación efectuadas en el transcurso de la misión por lo que respecta a las palas, permiten pensar que se ha eliminado progresivamente cualquier peligro de fisuración.

El examen y el control por líquido penetrante de la reparación y de los acordamientos dentro de un plazo de un año deberá permitir confirmar todo cuanto antecede.

Las zonas que sufren de cavitación siguen subsistiendo en los frentes laterales extradós en cola de pala y deben ser objeto de vigilancia y asimismo,proceder dentro del plazo

más breve posible a una recarga. Las holguras observadas de 10 a 12 mm, estando cerradas las palas (7º, 5) deben permitir una recarga más importante, lo cual podría disminuir de otro tanto la holgura marginal sumamente acusada estando las palas abiertas (36º). Esta holgura alcanza, al nivel de la arista, de salida, 100 mm en promedio. Estos valores pueden también dejar pensar que se habrán de producir cavitaciones en caso de un aumento de potencia.

La eliminación de todos los defectos importantes con que se ha tropezado en las recargas, como por ejemplo aquéllos situados cerca de la arista de entrada y en los frentes intradós de las palas, debería permitir limitar los riesgos de fisuración progresiva a que pueden dar origen, y sobre todo situándose hipótesis del aumento de potencia.

3.4.2 Anillo de garganta

Salvo la calidad intrínseca de las soldaduras, el anillo de garganta parece encontrarse en buen estado en su conjunto.

En cambio, la existencia de rezumes en la zona de conexión anillo de garganta-aspirador plantea un problema en cuanto al paso posible del agua.

Efectivamente, la zona de defecto situada por encima de ese cuadro parece corresponder, según los planos y las medidas dimensionames efectuadas in situ, a la conexión entre el anillo de garganta y la placa de base.

Para que se puedan producir rezumes a este nivel, ello presupone que:

- ya sea la existencia al nivel de S_3 y S_4 de defectos pasantes, que permiten la humidificación del hormigón;

- ya sea defectos que corresponden únicamente a la recarga y el agua, en tal caso, se acumula en las zonas de falta de adherencia que parecen existir entre la recarga y el metal básico;

- o bien, existe una línea de paso exterior que alimenta a los efectos pasantes. La persistencia del rezume tras una larga parada de la máquina parece tender a eliminar

la segunda hipótesis. La tercera hipótesis parece también poco probable ya que no se puede apreciar ningún vestigio húmedo en el caño hidráulico en otros puntos distintos de esta zona. Para proceder de aguas abajo, el agua tendría entonces que atravesar enormes espesores de hormigón.

En todos los casos, el proceso de reparación contemplado deberá siempre tener en cuenta el enlace S_3 y toda la parte situada aguas abajo.

4. ASPIRADOR

4.1 BLINDAJE

4.2 DIFUSOR

4.3 CAÑO HIDRAULICO DE AGUAS ABAJO

4.4 CONCLUSION

4.1 BLINDAJE

Controles efectuados

4.1.1 Examen visual

4.1.2 Medición del espesor del blindaje

4.1.3 Control de los remaches

Resultados

4.1.1 La parte superior del blindaje, sobre una altura de un metro aproximadamente, se ha reparado localmente por parte del personal de operación (fotografías nºs 72 y 73).

Su estado es satisfactorio por debajo de este nivel. El revestimiento no se encuentra alterado, ni por oxidación ni por erosión.

El recubrimiento (solape) de los diversos elementos es perfectamente sano y no se puede apreciar visualmente ninguna resurgencia de agua. Además, la unión con la solera de hormigón de los canales de descarga no presenta ninguna discontinuidad.

4.1.2 Se han efectuado algunas mediciones del espesor del blindaje, que no han permitido detectar ninguna anomalia.

4.1.3 No presenta ninguna anomalía ninguno de los remaches controlados (Se han controlado 150 remaches).

4.2 DIFUSOR

Tampoco cabe señalar ninguna anomalía en cuanto al difusor.

4.3 CAÑO HIDRAULICO DE AGUAS ABAJO

La parte del aspirador que no va blindada se divide en dos canales, separados por una lengüeta.

En la entrada del canal, por la orilla izquierda, el revestimiento ha quedado arrancado en una superficie de algunos metros cuadrados. Por el contrario, el canal de la orilla derecha y la lengüeta se encuentran en excelente estado.

Las ranuras de las ataguías no presentan ninguna degradación y las fugas se limitan a los recubrimientos de los elementos de ataguías entre sí.

4.4 CONCLUSION

Puede decirse que el conjunto de este blindaje se encuentra en excelente estado, salvo la zona de reparación que se extiende sobre un metro de altura por debajo de la conexión del blindaje con el anillo de base del anillo de garganta.

En el vano de la orilla izquierda, se debe proceder a un revocado del paramento dentro del plazo más reducido.

5. CONEXION DEL BLINDAJE DEL ASPIRADOR Y DEL ANILLO DE BASE DEL ANILLO DE GARGANTA (fotografías nos 54 a 61)

Controles realizados

5.1 Examen por líquido penetrante de la totalidad de la parte interesada.

5.2 Toma de una muestra de los metales en presencia (fotografías nºs 73 a 83)

5.3 Conclusión

Resultados

5.1.1 El examen por líquido penetrante permite detectar un gran número de defectos, picaduras, inclusiones, defectos de enlace y fisuración local más o menos amplia en toda la longitud de la soldadura.

La disposición de estos defectos, recubiertos en gran parte por la recarga inoxidable, muestra de forma perfectamente evidente el contorno sumamente irregular de la soldadura efectuada, realizada por encargo según las posibilidades de recubrimiento brindadas por el vértice del blindaje no enrasado.

5.2.1 El examen de las muestras tomadas deberá permitir reconstituir el proceso de soldadura de origen e imaginar un método de reparación (véase Anexo IV).

5.3 CONCLUSION

Es sumamente probable que el origen de la destrucción de esta parte superior del blindaje del aspirador proceda de la calidad excepcionalmente incorrecta de la soldadura, con la agravante derivada de los empujes hidrostáticos de impulsión, que se deben a las infiltraciones de agua por la parte trasera del blindaje, a partir de esta soldadura.

Si bien no existe nada que permita afirmar que tales infiltraciones se producen a partir de los innumerables defectos que presenta esta unión, la inexistencia de resurgencias fuera de esta zona, o en sus cercanías inmediatas, permite situarse en esta hipótesis.

En la parte interesada por la toma de muestras (fotografía nº 79), más de la mitad de la sección se encuentra en su lugar debido a la existencia del revestimiento inoxidable de 1 a 2 mm de espesor que le recubre.

La reparación, que habría de consistir en sustituir una parte del blindaje a partir del anillo de base, ejecutando soldaduras de calidad correcta, y una inyección de buena calidad, debería permitir resolver el problema planteado por el comportamiento del aspirador inclusive para un funcionamiento continuo a plena carga.

6. EJE DE TURBINA

Controles efectuados

6.1 Examen por magnetoscopia del acordamiento de conexión del plato de acoplamiento del eje del generador.

6.2 Examen por magnetoscopia del eje de la turbina al nivel del soporte de desmontaje.

Resultados

6.1.1 La magnetoscopia por espira, bajo un campo superficial de 4.800 A/m no ha permitido detectar ningún defecto.

6.2.1 Este soporte de desmontaje, a pesar de que presenta un cambio de sección sin acuerdo de unión, carece de defectos.

Conclusión

El eje de la turbina y el eje del generador no presentan ninguna fisuración progresiva por fatiga al nivel de los cambios de sección.

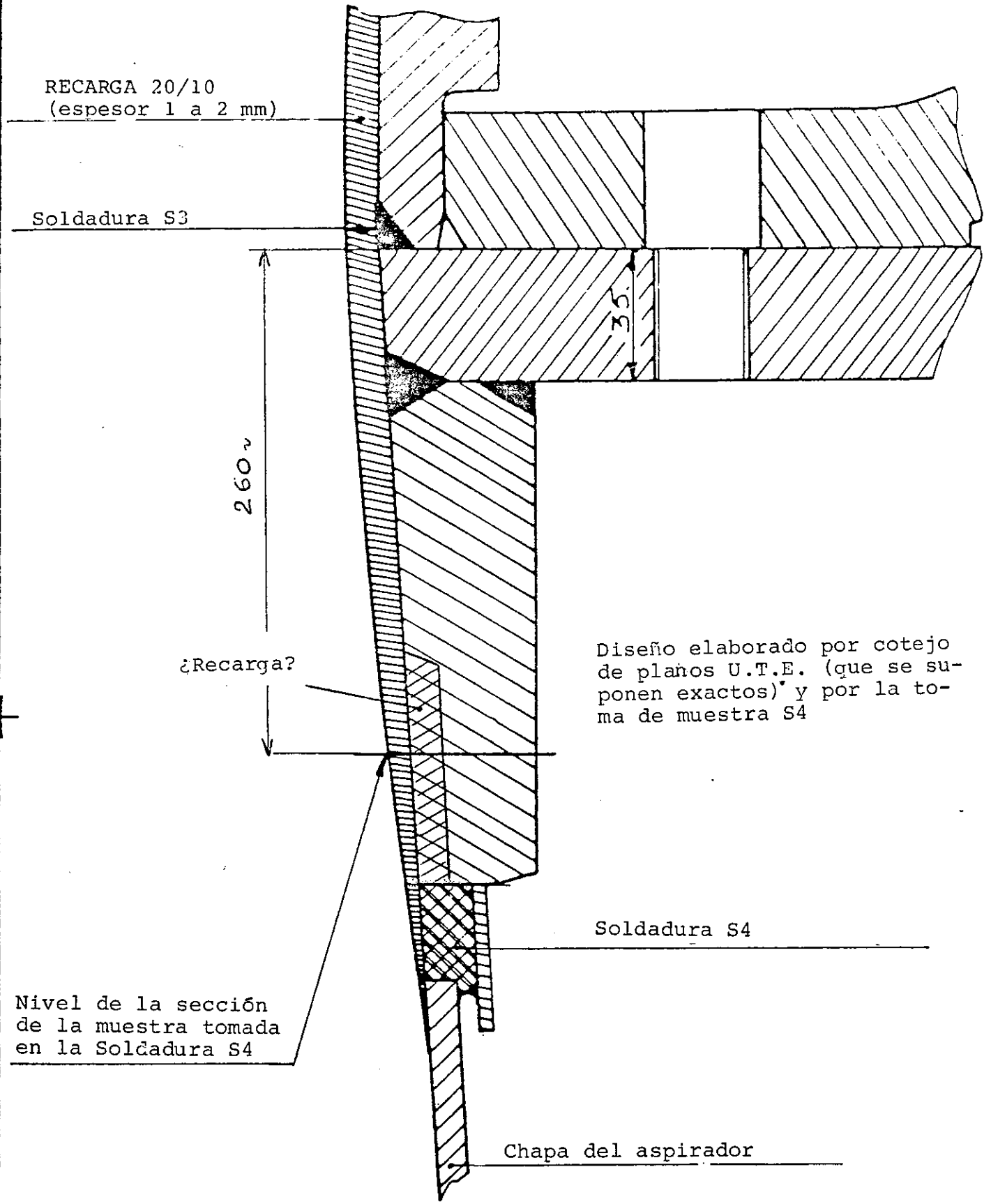
Debido a la imposibilidad de acceso, ha sido imposible controlar otros puntos importantes. Estos controles se podrán efectuar con motivo de desmontajes para proceder a la renovación.

7. GANCHOS DE LA GRUA MOVIL (fotografías nos 84-85-86)

Controles efectuados

7.1 Examen visual

7.2 Magnetoscopia por espiras de los ganchos de la grúa, situada en la orilla derecha.


RECARGA 20/10
(espesor 1 a 2 mm)
Soldadura S3
35
260
¿Recarga?
Diseño elaborado por cotejo de planos U.T.E. (que se suponen exactos) y por la toma de muestra S4
Soldadura S4
Nivel de la sección de la muestra tomada en la Soldadura S4
Chapa del aspirador

GABRIEL TERRA. - Conexión entre anillo de garganta-aspirador según se ha determinado por toma de muestras

00 MISE A JOUR	
Vérifié :	ELECTRICITÉ DE FRANCE — DIVISION TECHNIQUE GENERALE, 37, rue Diderot, B.P. 41 Centre de Tri, 38040 GRENOBLE Cedex, Tél. (76) 96-41-51
Dessiné :	
Date : 10.05.84	A4 DTG / N°

Resultados

7.1.1 El examen visual ha permitido detectar que los dos ganchos presentan importantes defectos de superficie, derivados de la fricción de los ramales de acero de las eslingas.

7.2.1 Tras limpieza por esmerilado fino, la magnetoscopia no ha permitido revelar ningún defecto.

Conclusión

Estos defectos de superficie pueden generar fisuraciones peligrosas.

De ahora en adelante, se deberá insertar una protección de caucho bajo las eslingas, cuando se proceda a la manipulación de cargas pesadas.

8. ACCION DE CAPACITACION EN EL ASPECTO DEL CONTROL

Información acerca de los métodos de control

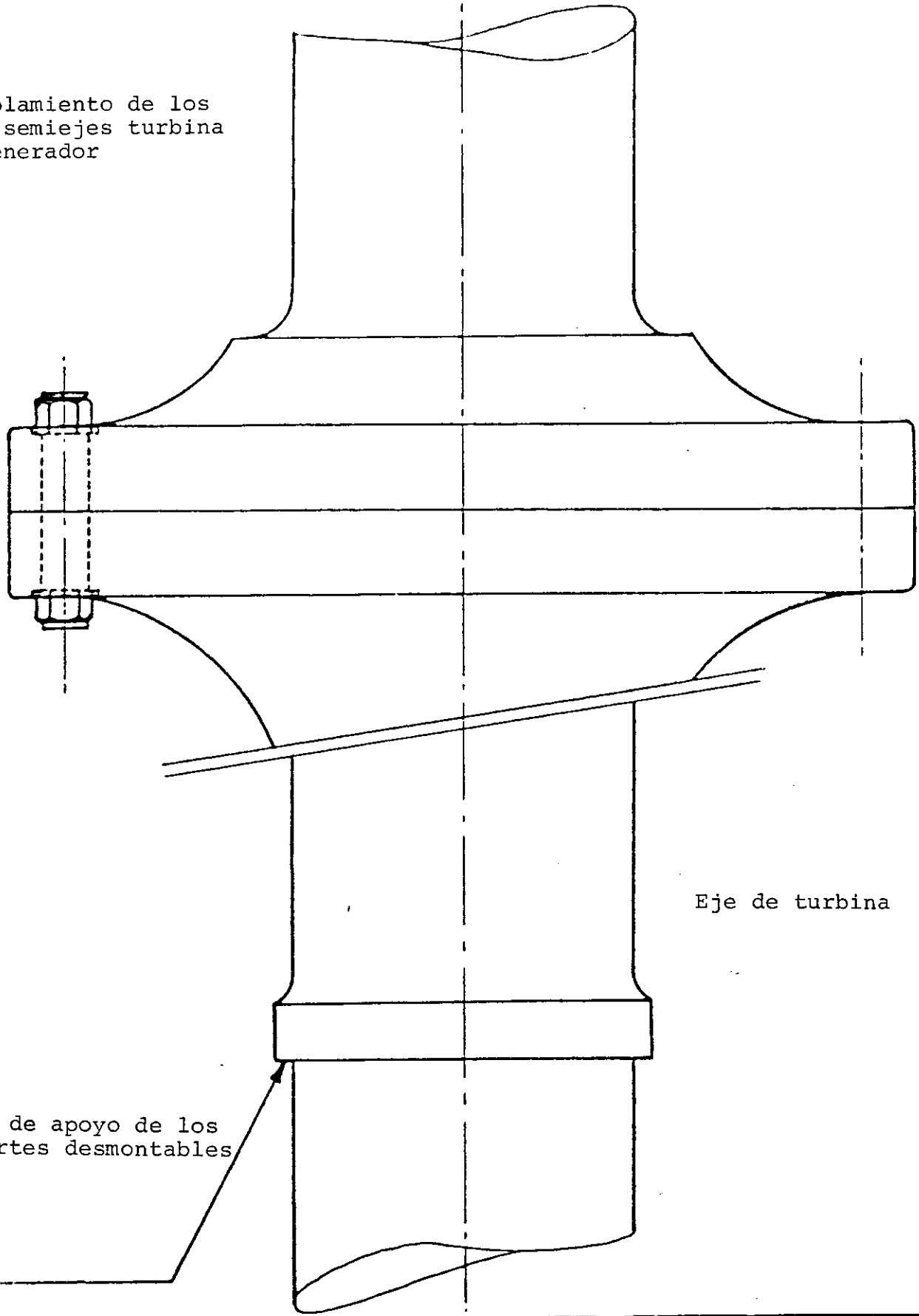
Se ha realizado una sesión de información acerca de los métodos de control corrientes (examen por líquido penetrante, magnetoscopia, macrografía) ante un público formado por una decena de jefes de la usina.

Durante esta sesión, que ha durado seis horas se ha tratado también brevemente del control ultrasónico.

Puesta en práctica

Los ingenieros y contramaestres responsables del mantenimiento de la usina han asistido a la aplicación del examen por líquido penetrante de las palas y del anillo de garganta así como a la magnetoscopia de los acordamientos del eje.

Del mismo modo, tres soldadores del taller de la usina, han sido capacitados respecto a la práctica corriente del examen por líquido penetrante con motivo de intervenciones de soldadura en las palas y el blindaje.



GABRIEL TERRA

EJE

| | | |

Finalmente, cuatro ingenieros de mantenimiento de otras dos usinas hidráulicas de U.T.E., han acudido al final de la mañana para darse cuenta de las posibilidades brindadas por estos controles en la turbina. En total, unas veinte personas han aprovechado estas informaciones.

9. INTERVENCIONES

A - INTERVENCION EN LAS PALAS

De acuerdo con los responsables de la operación de la usina y con la ayuda del personal de mantenimiento, la reparación de la pala (A) fisurada, se ha efectuado y se ha realizado un acordameinto en las uniones de la cola de las palas y de los muñones, que ha dado lugar a la eliminación de las grietas procedentes de fundición.

A.1 Procedimiento de reparación de la fisura (fotografías nºs 66 y 67)

1) Perforación de un agujero de 5 mm de diámetro, a 5 mm por encima del frente de fisura (4 mm por la cara opuesta);

2) Eliminación completa por esmerilado en V;

3) Obturación del agujero por medio de una estaquilla introducida a la fuerza;

4) Recarga controlada del hueco por depósito de metal (20-10-3) grado de calidad supuesto.

   (Cabe tener en cuenta que la recarga final del frente lateral se ha efectuado por medio de un espejo);

5) Enlace respecto al perfil por esmerilado;

6) Control final por examen por líquido penetrante (resudación).

A.2 Acordamientos (fotografías nos 68-69-70)

Los acordamientos se han realizado por esmerilado en las seis palas, habiéndose eliminado todas las grietas, algunas de las cuales alcanzaban más de 15 mm de profundidad.

B - BLINDAJE DEL ASPIRADOR

Con ayuda de un soldador de la usina, capacitado in situ, se ha procedido a la obturación de la ventanilla cortada en el blindaje del aspirador, a petición del encargado de la misión de obras civiles (fotografías nos 74 a 83 y 87).

Esta operación, sumamente delicada en cuanto a su ejecución debido a la presencia de las infiltraciones de agua y complicada por la reposición de hormigón, ha requerido la utilización de más de 100 electrodos de Ø 3,5 (grado de calidad 20-10-3, supuesto).

Se procederá ulteriormente por parte del personal de la usina a una inyección final de resina.

CONCLUSION DE SINTESIS

1. TUBO DE ADUCCION

Esta parte de la instalación parece encontrarse sumamente sana. Cabe contemplar la refacción local del revestimiento en el interior del tubo.

1.2 Juntas de dilatación

La rehabilitación de la cavidad interna, que requiere la aplicación de chorro de arena y asimismo, la refacción del revestimiento asfáltico sobre fondo antioxidante, se debe contemplar dentro de breve plazo.

1.3 Agujeros para paso de hombre

El estado mecánico de los órganos es excelente. Se deberá contemplar la refacción de los revestimientos interior y exterior. Se deberá proceder a la lubricación de los órganos de maniobra y de fijación.

1.4 Blindaje - remaches

No se ha comprobado ninguna anomalía. El espesor de los blindajes guarda conformidad con los valores indicados en los planos.

Un sólo remache, de más de 150 controlados, se encuentra roto al ras de su cabeza embebida en el hormigón, en la conexión del blindaje tubo de aducción-caja espiral.

2. CAJA ESPIRAL - DISTRIBUIDOR

2.1 Blindaje

Salvo algunos retoques que se han de efectuar en el revestimiento, se considera que el estado del blindaje es sumamente satisfactorio. Los espesores son normales y los remaches no presentan ninguna anomalía.

2.2 Distribuidor

No se ha detectado ninguna anomalía. En su conjunto, el distribuidor se encuentra en excelente estado.

3. RODETE DE TURBINA - ANILLO DE GARGANTA

3.1 Rodete

La reparación de una fisura llevada a cabo en la pala A y la ejecución de los acordamientos en las conexiones palas-muñones, reduce los riesgos de fisuración progresiva.

Las recargas por los frentes laterales de las colas de pala, lado intradós y extradós, se deberán mejorar y vigilar debido a las holguras marginales sumamente importantes que existen.

3.2 Anillo de garganta

Si se exceptúa la mediocre calidad de las soldaduras y de la recarga, el estado general del anillo de garganta parece satisfactorio.

Es posible que la soldadura de enlace del blindaje del aspirador con el anillo de base del anillo de garganta sea el elemento responsable de las infiltraciones de agua. Y, asimismo, la mediocre calidad de la recarga, que acusa multiples defectos y que está mal adherida al metal básico, permita la resurgencia por encima del anillo de base, a la altura de la cubierta.

4. ASPIRADOR

Si exceptuamos la zona de 1 m de altura situada por debajo del anillo de base, en donde los operadores han procedido ya a reparaciones, el conjunto aspirador, difusor, canales de descarga, se encuentra en buen estado.

Un revocado de algunos metros cuadrados del paramento del vano de descarga por la orilla izquierda, se deberá efectuar rápidamente.

5. CONEXION DEL BLINDAJE DEL ASPIRADOR

El origen de la destrucción de esta parte de la instalación se debe a la excepcional mediocridad de la soldadura.

La sustitución de una faja de aproximadamente 300 mm del blindaje actual por una chapa de acero inoxidable de 12 mm de espesor, correctamente conectada con el anillo de base y con el blindaje, operación seguida de una inyección de calidad correcta debería resolver muy posiblemente este problema de forma definitiva.

La operación relativamente sencilla y rápidamente realizable debería quedar sometida previamente a prueba en un grupo que funcione a plena carga durante un año.

6. EJE

No se ha detectado ninguna anomalía al proceder a los controles de los acordamientos entre los semiejes.

7. GANCHOS DE PUENTE GRUA

Tras una rehabilitación perfecta de las superficies de apoyo, se han controlado los ganchos del puente grúa situado en la orilla derecha de la usina y no se ha detectado ninguna anomalía. En el futuro, se deberá insertar protecciones bajo las eslingas cuando se proceda a la manipulación de cargas pesadas.

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 2

INFORME DTG - PRUEBAS ELECTRICAS

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Télex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

ANEXO 2

USINA HIDROELECTRICA GABRIEL TERRA (URUGUAY)

PRUEBAS DIELECTRICAS Y DE CALENTAMIENTO

Resumen:

Informe de las pruebas eléctricas llevadas a cabo en los grupos 1 a 4 - 32 MVA de la unsina Gabriel Terra:

- pruebas dieléctricas devanados estator y rotor (G1 a G4)

- pruebas de calentamiento devanados estator y rotor (G2)

- pruebas de caracterización de las prestaciones de un equipo de control dieléctrico (equipo U.T.E.)

El análisis de los resultados obtenidos permite definir las condiciones de renovación de los devanados, así como los modos de funcionamiento que pueden permitir prolongar la duración útil de las máquinas

CARACTERISTICAS DE LA INSTALACION Prueba nº 7699.51

Usina
GABRIEL TERRA ABRIL 1984

Número de grupos : 4

Constructor : General Electric

Potencia nominal : 32 MVA

Voltaje nominal : 13,8 kV

Coseno Ø nominal : 0,95

Velocidad de rotación : 125 r.p.m. (2p = 48)

Eje : vertical (turbina Kaplan)

Aislamiento a la masa : micafolium asfaltado

Tipo del devanado : 7 espiras - 6 ramales elementales

Espesor del aislante : 5 mm

Puesta en funcionamiento y números de horas de marcha en 31 marzo de 1984 :

Grupos	Puesta en servicio	Rebobinado	Horas de funcionamiento (en 31-03-84) después del rebobinado
G.1	1947	1960	144 954
G.2	1945	1960	160 898
G.3	1948	1963	153 163
G.4	1948	1960	167 816

Duración de promedio de funcionamiento : 156 700 h (diferencia típica 6.3%)

Observación preliminar: los elementos contenidos en este informe, resultados de pruebas, interpretaciones y recomendaciones, no pueden quedar separados en ningún caso. En cualquier comunicación de las recomendaciones contenidas en el mismo, se deberá hacer referencia explícitamente a todos estos elementos.

La presente nota tiene por objeto explicar resumidamente las distintas pruebas llevadas a cabo en la usina hidráulica GABRIEL TERRA, del 2 al 13 de abril de 1984, su objeto, y asimismo, los métodos utilizados por los representantes de la D.T.G., señores OSEREDCZUK y HERNANDEZ.

I - CONTROLES DIELECTRICOS DE LOS ESTATORES

Prueba de polarización

Esta prueba está destinada a informar a los operadores respecto a las condiciones higrométricas de la máquina, por la determinación del índice de polarización, a partir del valor de la resistencia de aislamiento, midiendo la corriente registrada al cabo de 30 minutos y, asimismo respecto a las características cualitativas del aglomerante que entra en la composición del aislante por el cáclculo de la "corriente de resorpción a 1 min".

Para efectuar esta medición, se aplica entre las tres fases en paralelo y la masa, un voltaje continuo estable de unos 500 V durante una hora, con anotación de la corriente total en función del tiempo. El índice de polarización se obtiene efectuando la relación de las corrientes registradas a un minuto y 10 minutos.

Acto seguido, se descarga el devanado estatórico por conexión con la masa de los extremos neutro o del sistema eléctrico, por mediación de un nanoamperímetro y se registra también la corriente de descarga en función del tiempo. El cálculo de la corriente de resorpción a 1 min se obtiene considerando la misma a la unidad de voltaje de capacidad. Este coeficiente se expresa en mA/V.F.

Observación: por lo que se refiere a la apreciación de los resultados dieléctricos (índice de polarización Ip, resistencia de aislamiento Ri, corriente de resorpción Jr) la dificultad de cuantificación nos conduce a adoptar una escala de valor definido de la forma siguiente en cuanto a su gradación: sumamente mediocre, mediocre, poco satisfactorio, satisfactorio, sumamente satisfactorio, excelente.

Medición de los niveles de ionización

Esta prueba tiene por objeto apreciar el envejecimiento y la degradación de la aislación debidos a los esfuerzos térmicos, eléctricos, vibratorios o bien, inherentes al procedimiento de fabricación (fundamentalmente, al tratarse de las máquinas nuevas).

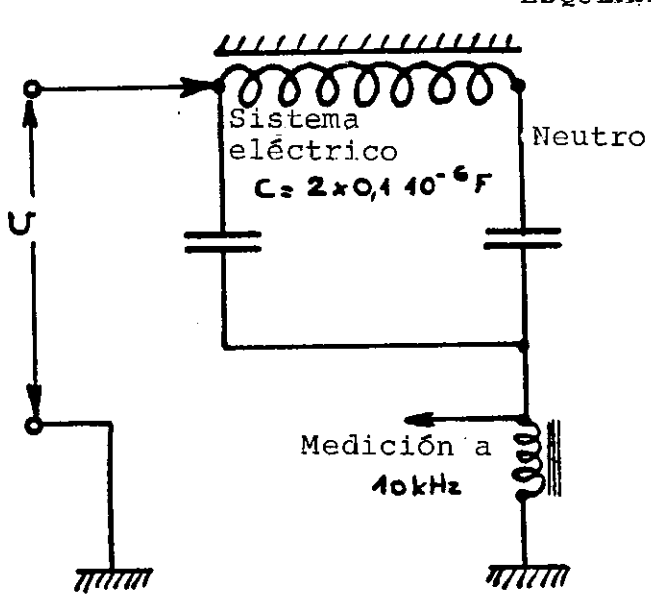
Esta alteración se evidencia por la presencia de descargas parciales internas (vacuolas) o externas (electroerosión). El método de medición que se utiliza, consiste en medir el flujo cuadrático de estas descargas con frecuencias determinadas (10 kHz y 130 kHz).

La prueba consiste en alimentar una de las fases mediante una fuente de voltaje alternado de 50 Hz entre uno de los extremos y la masa, para valores de voltaje que oscilan entre $0,2\ \frac{Un}{\sqrt{3}}$ y $1,05\ \frac{Un}{\sqrt{3}}$. Las señales a 10 kHz y a 130 kHz son registradas según el esquema de la página siguiente (Un =valor eficaz entre fases).

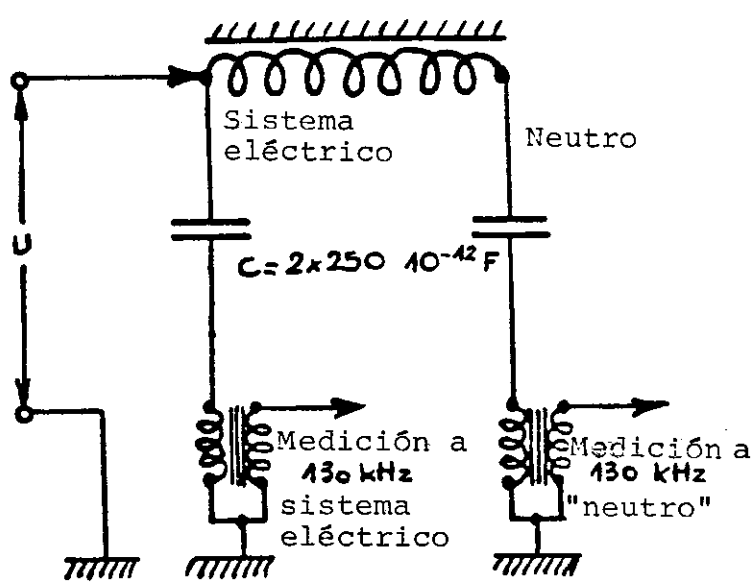
Se ha adoptado la frecuencia de 10 kHz ya que la misma permite la exploración total del devanado (sin ninguna atenuación apreciable).

A 130 kHz únicamente los extremos corresponden a la medición, y ello debido a las condiciones de propagación. Esto permite un análisis complementario del fenómeno, por discriminación entre esfuerzos eléctricos y termomecánicos.

ESQUEMA DE MONTAJE UTILIZADO



Medición a 10 kHz



Medición a 130 kHz

Mesure de tg δ

Medición de tg

Esta medición se efectúa por medio de un puente de SCHERING, con los mismos valores de voltaje que en el caso anterior y permite la determinación del ángulo de pérdida que caracteriza las cualidades dieléctricas del aislante y las variaciones de capacidad del devanado en función del voltaje aplicado.

Utilizada como complemento de la medición de los niveles de ionización, esta medición permite facilitar la interpretación.

II - CONTROL DE AISLAMIENTO DE LOS ROTORES

Medición del reparto del voltaje entre polos

Esta medición permite la localización de un polo defectuoso, y fundamentalmente si el mismo se encuentra afectado por un cortocircuito entre espiras.

El conjunto de los polos queda alimentado por un voltaje alternado con cresta equivalente al voltaje nominal de excitación y la medición se efectúa sucesivamente en los terminales de cada polo ($U\sqrt{2} \simeq Ufn$).

III - PRUEBA DE CALENTAMIENTO ROTOR Y ESTATOR

La determinación de la temperatura del cobre del rotor se ha calculado tomando como punto de partida la relación normalizada:

$$\frac{234,5 + t}{R} \qquad \frac{234,5 + to}{Ro} = \text{constante}$$

La resistencia Ro se ha medido en to, por medio de una fuente de voltaje continuo y por el médodo del amperímetro y del voltímetro.

Por consiguiente, se puede deducir: $t = f(R)$

La temperatura to se ha medido por medio de sondas existentes en el estator. Las indicaciones de estas últimas se han controlado previamente por medio de un termómetro de precisión una vez alcanzado el equilibrio térmico de la máquina.

Las pruebas se han efectuado con dos valores de potencia (30,4 MW y 35 MW) con coseno φ nominal (0,95) y tras un periodo de estabilización térmica de unas cuatro horas aproximadamente (Sn y 1,15 Sn en valores relativos).

El calentamiento se determina de la forma siguiente:

a) Rotor

. $\Delta\theta cr = \theta cr - \theta e$

. θcr = temperatura del cobre en el rotor

. θe = temperatura del agua de enfriamiento

b) Estator

. $\Delta\theta cs = \theta cs + \Delta c - \theta e$

. θcs = temperatura de promedio de las tres sondas del estator más elevadas

. Δc = diferencia térmica (Δc = 20ºC para máquina Un $>$ 11 kV)*

. θe = temperatura del agua de enfriamiento

IV - PRUEBA DEL GENERADOR DE ALTA TENSION CONTINUA

El examen del generador se ha realizado con objeto de permitir su utilización para la medición de las corrientes de conducción tal como se practica por parte de Electricité de France (E.D.F.).

/*/ Referencia norma U.T.E.

Recomendaciones C.E.I.

RESULTADOS

I - PRUEBAS DIELECTRICAS

Grupo nº 1

- polarización: el valor del índice de polarización, (3,8) y el valor de la resistencia de aislación a 30 min (> 1.500 MΩ) son perfectamente satisfactorios.

  El valor de la corriente de resorpción a 1 min (4,24 mA/VF) es mediocre.

- descargas parciales: los niveles de ionización medidos con el voltaje nominal de funcionamiento, son superiores a aquéllos normalmente admitidos en los aislamientos de este tipo para las dos frecuencias de medición. Son homogéneos entre las fases, aun cuando son más elevados por el lado neutro.

  Se observan dos límites de cebado: 3,5 kV (0,44 Un) y 5,5 kV (0,69 Un) aproximadamente.

  Los niveles registrados mediante el medidor de cresta son moderados, homogéneos entre las fases y asimismo superiores por el lado neutro.

- $tg\delta$ y variación de capacidad: los valores de $tg\,\delta$ son elevados, pero la diferencia absoluta entre 1,5 Un/$\sqrt{3}$ y 0,2 Un/$\sqrt{3}$ es reducida ($\Delta tg\delta \simeq 10^{-2}$).

  La variación relativa de capacidad con relación a 0,2Un/$\sqrt{3}$ para el nivel 1,05 Un/$\sqrt{3}$ es reducida ($< 2\%$)

Grupo nº 2

- polarización: el valor del índice de polarización (4,8) y el de la resistencia de aislación a 30 min (>3.500 MΩ) son excelentes.

  El valor de la corriente de resorpción (2,99 mA/VF) es poco satisfactorio.

- descargas parciales: los niveles de ionización medidos con el voltaje nominal de funcionamiento, son superiores a aquéllos normalmente admitidos en los aislamientos de este tipo para las dos frecuencias de medición.

  Su homogeneidad es satisfactoria entre las fases, siendo más elevados por el lado neutro.

  Los límites de cebado se sitúan en los alrededores de 3,5 kV (0,44 Un) y 5,5 kV (o,69 Un).

- tgδ y variación de capacidad: los valores de tgδ son elevados, pero la diferencia absoluta entre 1,05 Un/$\sqrt{3}$ y 0,2 Un/$\sqrt{3}$ es reducida (Δtg$\delta \simeq 10^{-2}$).

  La variación relativa de capacidad con relación a 0,2 Un/$\sqrt{3}$ para el nivel 1,05 Un/$\sqrt{3}$ es reducida ($<2\%$).

Grupo nº 3

- polarización: el valor del índice de polarización (3,9) y el valor de la resistencia de aislación a 30 min (1500 MΩ) son perfectamente satisfactorios.

  El valor de la corriente de resorpción a 1 min (4,50 mA/VF) es mediocre.

- descargas parciales: los niveles de ionización medidos con el voltaje nominal de funcionamiento son sumamente elevados, tanto a 10 kHz como a 130 kHz. Estos valores son homogéneos entre las fases y superiores por el lado neutro.

  Se observan tres límites de cebado: 3,5 kV (0,44 Un), 5,5 kV (0,69 Un), 6,5 kV (0,82 Un).

  Los niveles registrados por medio del medidor de cresta son sumamente elevados, con una homogeneidad correcta entre las fases y ampliamente superiores por el lado neutro.

- tg δ y variación de capacidad: los valores de tg δ son elevados pero la diferencia absoluta entre 1,05 Un/$\sqrt{3}$ y 0,2 Un/$\sqrt{3}$ es aceptable (Δtg $\delta \simeq 2.10^{-2}$).

  La variación de capacidad relativa considerada a 0,2 Un/$\sqrt{3}$ para el nivel 1,05 Un/$\sqrt{3}$ es aceptable (de un 3% aproximadamente).

Grupo nº 4

- polarización: el valor del índice de polarización (3,3) y aquél de la resistencia de aislación a 30 min. (del orden de 600 MΩ) son bastante satisfactorios.

  El valor de la corriente de resorpción a 1 min (7,16 mA/VR) es sumamente mediocre.

- descargas parciales: los niveles medidos con el voltaje nominal de funcionamiento son elevados, tanto a 10 kHz como a 130 kHz. Estos niveles son homogéneos entre las fases y superiores por el lado neutro.

  Cabe establecer la distinción entre dos límites de cebado: del orden de 3 kV (0,38 Un) y 5,5 kV (0,44 Un).

  Los niveles registrados por medio del medidor de cresta son bastante elevados y homogéneos entre las fases, siendo superiores por el lado neutro.

- tg δ y variación de capacidad: los valores de tg δ son elevados pero la diferencia absoluta entre 1,05 Un/$\sqrt{3}$ y 0,2 Un/$\sqrt{3}$ es aceptable (Δtg $\delta \simeq 2.10^{-2}$).

  La variación de capacidad considerada a 0,2 Un/$\sqrt{3}$ para el nivel 1,05 Un/$\sqrt{3}$ es reducida ($<$ a 2%)

II - CONTROL DE AISLACION DE LOS ROTORES

Grupo nº 1

La tensión media aplicada en cada polo es de 2,64 V. La diferencia relativa máxima es equivalente a + 8,6% para el polo nº 16 y - 7,3% para el polo nº 17.

La diferencia típica es equivalente a 3,50%.

Grupo nº 2

La tensión media aplicada en cada polo es de 2,64 V. La diferencia relativa máxima es equivalente a +10% para el polo nº 42 y -8,5% para el polo nº 13.

La diferencia típica es equivalente a 4,47%.

Grupo nº 3

La tensión media aplicada en cada polo es de 2,64 V. La diferencia relativa máxima es equivalente a +4,8% para el polo nº 7 y de -9,8% para el polo nº 10.

La diferencia típica es equivalente a 2,76%.

Grupo nº 4

La tensión media aplicada en cada polo es de 2,65 V. La diferencia relativa máxima es equivalente a 7,7% para el polo nº 10 y de -11,2% para el polo nº 3.

La diferencia típica es equivalente a 3,96%.

III - MEDICION DE CALENTAMIENTO DEL ROTOR Y ESTATOR (Grupo nº 2)

a) Rotor

La temperatura máxima del cobre alcanzada para una corriente de excitación de 667 A y un voltaje de excitación de 202 V es de 72ºC. Esta temperatura se ha alcanzado tras un tiempo de estabilización térmica de 4 horas aproximadamente y corresponde a una potencia de 30,4 MW, un voltaje del sistema eléctrico de 14,1 kV con coseno Ø nominal de 0,95 (Sn, cos Ø, 1,022 Un).

En tales condiciones, el calentamiento máximo determinado según las normas de cálculo de Electricité de France (E.D.F.) equivale a: $\Delta\theta cr = 52ºC$ (para $\theta e = 20ºC$).

En el funcionamiento en sobrepotencia a 35 MW, y para un voltaje del sistema eléctrico de 14,4 kV, una excitación equivalente a 738 A y 236 V, la temperatura máxima del cobre se eleva a 88ºC (1,15 Sn, cos Ø n, 1,043 Un).

El tiempo de estabilización térmica es de 4 horas aproximadamente.

En tales condiciones, el calentamiento máximo del cobre equivale a $\Delta\theta cr$ = 68ºC (para θe = 20ºC).

b) Estator

Recapitulación: la temperatura del estator se ha medido por medio de sondas existentes (10 Ω a 20ºC), previamente comparadas con las medidas efectuadas mediante un termómetro D.T.G. de precisión (0,1ºC).

La temperatura máxima alcanzada por el estator, para una potencia de 30,4 MW, U = 14,1, I = 1.296 A, cos Ø = 0,95, o sea (Sn - cos Ø n - 1,022 Un) es de 89ºC.

En tales condiciones, el calentamiento máximo determinado según las normas de cálculo de Electricité de France (E.D.F.) equivale a $\Delta\theta cs$ = 69ºC (θe = 20ºC).

En el funcionamiento en sobrepotencia a 35 MW (U = 14,4 kV, I = 1.476 A, cos Ø = 0,95 o sea 1,15 Sn - cos Ø n - 1,043 Un) la temperatura máxima alcanzada por el estator es de 98ºC. Esta temperatura corresponde a un calentamiento $\Delta\theta cs$ = 78ºC (θe = 20ºC).

Durante estas pruebas, la temperatura del aire a la salida de los refrigerantes era de 35ºC y la del agua de enfriamiento de 19,8ºC. La temperatura ambiente en esta época del año era de 24ºC.

IV - PRUEBA DEL GENERADOR DE ALTA TENSION CONTINUA (equipo U.T.E.)

Las pruebas se han efectuado tomando como punto de partida el esquema de la página 36. El aparato de referencia EDF/DGT estaba formado por un generador electrostático giratorio SAMTRON, de alto grado de estabilidad (superior a 10^{-4}).

Las pruebas han permitido demostrar:

- la correcta estabilidad en corriente para los distintos niveles de voltaje efectuadas (superior a 10^{-3}),

- una correcta aislación entre el sistema eléctrico y la masa, necesario para eliminar las corrientes parásitas (lo cual refleja una influencia correcta del circuito de guarda).

Por el contrario, se ha observado:

- la dificultad consistente en obtener niveles fijos de voltaje (regulación manual continua y progresiva, y por consiguiente escalones de voltaje bastante mal definidos),

- la precisión insuficiente de lectura del voltaje de salida para las gamas elevadas de voltaje (la conexión de un voltímetro exterior no resulta posible, ya que el caso no ha sido previsto),

- el funcionamiento defectuoso del circuito limitador de corriente que perturba la medición (debido muy probablemente a la incorrecta calidad del potenciómetro de regulación),

- la importante sensibilidad del voltaje de salida en función de las variaciones del voltaje del sistema eléctrico (por ejemplo, se ha registrado una caída de un 6% en salida para una perturbación del sistema auxiliar generada por la puesta en funcionamiento de un puente grúa).

CONCLUSIONES GENERALES

POLARIZACION

Los valores del índice de polarización y de la corriente a 30 min. registradas en las cuatro máquinas indican que la aislación se encuentra seca.

Los valores de la corriente de resorpción a 1 minuto, mediocres, demuestran que el aglomerante que forma parte de la composición del aislante ha perdido en parte, sus propiedades dieléctricas. Este envejecimiento se debe principalmente a los efectos eléctricos, térmicos y vibratorios que se han acumulado durante las 156 700 horas de funcionamiento.

Los resultados particularmente desfavorables obtenidos en el grupo nº 4 se deben a la parada prolongada del mismo (aproximadamente 1 mes) antes de la ejecución de la prueba: el aumento de humedad que de hecho resulta tiende a exagerar los efectos perceptibles del envejecimiento, de lo cual se deriva una diferencia que no se juzga significativa con relación a las otras tres máquinas.

DESCARGAS PARCIALES

Los niveles de ionización son elevados en su conjunto y particularmente preocupantes al tratarse de la máquina nº 3. Los distintos métodos de investigación (medición cuadrática, de cresta, tgδ) muestran que nos encontramos aquí en presencia de descargas parciales internas, de fuertes energías, sumamente nocivas para la aislación.

Efectivamente, una tentativa de visualización de las descargas, efectuada en la oscuridad ha permitido demostrar la ausencia total de efluvios externos al nivel de las evolventes estatóricas.

Estas descargas parciales se encuentran localizadas en el muro aislante y al nivel de la interfase cobre/aislamiento (desprendimientos locales). También aquí, esta degradación se debe principalmente a los esfuerzos eléctricos, térmicos y vibratorios que han tenido que soportar las máquinas que totalizan ya un número de horas de funcionamiento sumamente importante.

CONTROL DEL REPARTO DEL VOLTAJE ENTRE BOBINAS DEL ROTOR

Las pruebas efectuadas en cada uno de los polos de las 4 máquinas demuestra que no existe ninguna anomalía de aislación entre espiras. La dispersión de los puntos de medición se debe, fundamentalmente, a las variaciones del voltaje del sistema eléctrico que no permiten alimentar al rotor con un voltaje constante durante la duración de las pruebas*. No obstante, es preciso tener en cuenta que este control ha tenido lugar estando la máquina parada y que no permite detectar un defecto que podría aparecer durante el transcurso de la rotación (esfuerzos centrífugos).

NOTA: La prueba de rigidez dieléctrica del devanado rotórico, con relación a la masa, inicialmente prevista por el programa, no se ha llevado a cabo, a petición nuestra y de acuerdo con U.T.E. Efectivamente, el análisis global del estado del devanado nos conduce a considerar que dicha prueba podría ser de carácter destructivo. No obstante, cabe recordar que la prueba de reparto de tensión entre polos se ha efectuado bajo $U\sqrt{2} \simeq 180$ V $\simeq$ Ufn.

MEDICIONES DE CALENTAMIENTO ROTOR Y ESTATOR

Los calentamientos y temperaturas máximas registradas con régimen nominal y en sobrepotencia, son inferiores a aquéllos preconizados por las normas de Electricité de France (E.D.F.)**.

Con mayor detalle, y por lo que se refiere a las temperaturas máximas alcanzadas por los aislantes, que constituyen la condición a largo plazo para su degradación, en parte, se han registrado los márgenes siguientes:

- para el rotor, la temperatura máxima autorizada por Electricité de France es equivalente a 120ºC: los márgenes alcanzan, por consiguiente 48ºC en régimen nominal y 31ºC en sobrepotencia para una temperatura del agua fría equivalente a 20ºC.

- para el estator, la temperatura máxima autorizada por Electricité de France es equivalente a 115ºC: por consiguiente, los márgenes alcanzan 26ºC en régimen nominal y 17ºC en sobrepotencia, para una temperatura de agua fría equivalente a 20ºC. El margen alcanzaría entonces 7 K con un agua a 30ºC.

* Diferencia relativa máxima del orden de dos diferencias-típicas.

** Norma E.D.F. H103
Publicación EDF-SPH 24

Cabe observar que una sobrepotencia de un 15% se refleja por un sobrecalentamiento del rotor (+17ºC) y del estator (+9ºC).

El análisis de la relación entre potencia y calentamiento muestra que las temperaturas límites permitidas se alcanzarían simultáneamente en el rotor y en el estator para una sobrepotencia teórica importante que de todos modos, sería muy superior a aquélla contemplada (aproximadamente 1,15 Sn).

De ello se deriva que la única limitación termica que cabe considerar, en relación con una posible sobrepotencia, en la zona de 0 a 15%, corresponde a aquélla del devanado estatórico.

A título indicativo, se puede decir que el funcionamiento en régimen de sobrepotencia a 1,5 Sn se refleja, para el estator, por un sobrecalentamiento de 9ºC, y por consiguiente un consumo de duración útil restante virtualmente dos veces más importante que en régimen nominal.

RECOMENDACIONES

NOTA: Las recomendaciones que figuran a continuación se refieren exclusivamente a las partes activas aislantes sometidas a esfuerzos permanentes. dieléctricos y termomecánicos. Habida cuenta de los resultados de las pruebas y de su análisis, podemos formular las siguientes recomendaciones, con objeto de prolongar la duración útil de las máquinas.

1) Considerando el punto de vista funcional, y previamente a cualquier renovación de los devanados, parece deseable actuar sobre la velocidad de degradación físico-química de los aislantes, limitando su temperatura, y por consiguiente, evitando sobrepasar el régimen nominal, así como los ciclos térmicos de gran amplitud (evitar las puestas en carga demasiado rápidas, y sobre todo de una duración marcadamente inferior a aquélla de la constante de tiempo térmico rotórico, cercana de 1 hora).

2) Desde el punto de vista material, y habida cuenta de las posibles sujeciones de carácter logístico y económico, parece deseable contemplar un orden preferente de renovación de los devanados estatóricos considerando un periodo de funcionamiento de 5 a 7 años:

   - de forma prioritaria* en el grupo nº 3 (plazo : 2 ó 3 años)

   - acto seguido en el grupo nº 4 (plazo 3 a 5 años)

   - finalmente, en los grupos nºs 1 y 2 (orden indistinto según el estado actual del problema, y plazo de 5 a 7 años).

   La renovación de los devanados rotóricos parece justificarse en menor proporción, por lo que se refiere a su comportamiento respecto de los esfuerzos termomecánicos normales (régimen permanente nominal). Un posible

---

* El espesor del aislamiento conduce a contemplar preferentemente la aparición de un defecto entre espiras. Este tipo de defecto degenera sistemáticamente en defecto de la masa.

fallo de carácter dieléctrico sigue siendo posible de todos modos. durante los regímenes transitorios anormales (funcionamiento asincrónico, falsos acoplamientos, etc.).

3) Considerando el punto de vista funcional, y tras renovación de los devanados estatóricos, sería posible operar los grupos en sobrepotencia (por lo menos 1,15 Sn)

NOTA: por lo que se refiere al generador de alta tensión continua, y a pesar de algunas insuficiencias relacionadas con la flexibilidad de utilización (regulación y medición del voltaje de salida), una mejora tecnológica al nivel del potenciómetro de limitación de corriente permitiría utilizarla de forma valedera en el marco de un método de diagnóstico denominado "simplificado", las modalidades y las caracteísticas de este método E.D.F.-D.T.G. se pueden precisar por separado si U.T.E. así lo juzga útil.

A. AUDOLI	P. OSEREDCZUK	L. PIERRAT
Responsable de las actividades dieléctricas	Encargado de las pruebas	Jefe del Servicio "PRUEBAS ELECTRICAS"

Usinas y Trasmisiones Electricas (URUGUAY)	PRUEBA DE POLARIZACION			Prueba nº 7699-51
	Grupos 1-2-3-4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

N° grupo	1	2	3	4
Temperatura ambiente °C	24	24	23	23
Temperatura del hierro °C	27	28	28	23
Higrometría %	57	34	50	45
Voltaje de polarización V	534	533	534	520
Capacidad (medición balística) 10^{-0} F	1,14	1,04	1,06	1,19
Indice de polarización	3,8	4,8	3,9	3,3
Corriente de fuga a 30 min a 20°C 10^{-6} A	0,35	0,15	0,36	0,86
Corriente de resorpción a 1 min a 20ºC mA/VF	4,24	2,99	4,50	7,16
Tiempo de parada antes de las pruebas H	24 h.	24 h.	24 h.	1 mes

Usinas Y Trasmisiones Electricas (URUGUAY)	Medición de los niveles de ionización de las tangentes		Prueba nº 7699-51
	Grupo 1	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

Medición de los flujos cuadráticos medios

** : dB 10^{-16} C^2/S * : dB 10^{-9} C^2/SF

Voltaje aplicado en kV	Medición a 130 kHz ** sistema eléctrico			neutro			Medición a 10 kHz * Sistema eléctrico-neutro		
	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3
8,37	12	11	12	16	10	14	40	37	40
7,97	12	12	12	15	16	16	42	43	41
7,17	7	6	7	11	11	10	35	35	35
6,37	0	-3	-3	3	4	2	31	28	28
4,78	-24	-24	-21	-20	-24	-20	19	19	14
3,19	-32	-36	-31	-37	-40	-40	0	-1	12
1,59	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	-7	-5	-12
0	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	-23	-22	-23

Medición de la mayor descarga en dB 10^{-12} C

Voltaje aplicado en kV	Ø 1				Ø 2				Ø 3			
	Sist.eléc.		Neutro		Sist. eléc.		Neutro		Sist. eléc.		Neutro	
	200kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz
8,37	76	72	82	75	75	71	78	78	76	76	80	78
7,97	77	73	82	76	81	74	89	86	78	78	87	82
7,17	75	70	78	78	75	71	84	81	76	76	82	78
4,78	50	45	60	57	50	40	58	48	53	48	52	48

Medición de la capacidad de las tangentes

capacidad en 10^{-6} F tg δ en %

Voltaje aplicado en kV	Ø 1		Ø 2		Ø 3	
	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ
8,37	0,316	8,76	0,315	9,02	0,315	8,67
7,97	0,315	8,51	0,314	8,74	0,314	8,44
7,17	0,314	8,20	0,313	8,39	0,313	8,13
6,37	0,314	8,06	0,313	8,23	0,312	7,96
4,78	0,313	7,94	0,312	8,13	0,311	7,84
3,19	0,312	7,87	0,311	8,05	0,310	7,78
1,59	0,310	7,76	0,309	7,94	0,309	7,65
%	1,94	1,00	1,94	1,08	1,94	1,02

Usinas Y Trasmisiones Electricas (URUGUAY)	Medición de los niveles de ionización de las tangentes		Prueba nº 7699-51
	Grupo 2	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

Medición de los flujos cuadráticos medios

** : dB 10^{-16} C^2/S * : dB $10^{-9}C^2/SF$

Voltaje aplicado en kV	Medición a 130 kHz ** Sistema eléctrico			Neutro			Medición a 10 kHz * Sistema eléctrico-neutro		
	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3
8,37	16	14	15	18	16	16	44	44	42
7,97	14	13	12	18	16	14	45	45	45
7,17	10	9	9	14	11	10	40	40	39
6,37	1	0	-1	5	4	3	31	34	35
4,78	-20	-21	-24	-18	-21	-17	20	21	23
3,19	-40	-34	-34	-33	-36	-28	9	3	14
1,59	<-40	<-40	<-40	-34	-36	-36	-5	-5	-7
0	<-40	<-40	<-40	-35	<-40	-38	-23	-21	-23

Medición de la mayor descarga en dB 10^{-12} C

Voltaje aplicado en kV	Ø 1				Ø 2				Ø 3			
	Sist.eléc.		Neutro		Sist. eléc.		Neutro		Sist.eléc.		Neutro	
	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz
8,37	78	74	75	79	82	74	84	78	78	74	82	78
7,97	78	75	88	80	81	74	92	88	79	73	83	80
7,17	75	70	86	80	79	73	90	87	75	72	82	78
4,78	46	42	57	51	51	40	56	49	48	42	57	48

Medición de la capacidad de las tangentes δ

capacidad en 10^{-6} F tg δ en %

Voltaje aplicado en kV	Ø 1		Ø 2		Ø 3	
	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ
8,37	0,289	7,90	0,287	8,19	0,286	8,24
7,97	0,287	7,67	0,287	7,90	0,287	7,96
7,17	0,287	7,39	0,286	7,58	0,286	7,63
6,37	0,287	7,25	0,285	7,40	0,285	7,47
4,78	0,286	7,15	0,285	7,29	0,284	7,35
3,19	0,285	7,03	0,284	7,18	0,283	7,23
1,59	0,284	6,90	0,283	7,03	0,282	7,08
%	1,76	1,00	1,41	1,16	1,42	1,16

Usinas Y Trasmisiones Electricas (URUGUAY)	Medición de los niveles de ionización de las tangentes δ		Prueba n º 7699-51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

Medición de los flujos cuadráticos medios

** : dB 10^{-16} C^2/S * : dB 10^{-9} C^2/SF

Voltaje aplicado en kV	Medición a 130 kHz ** Sistema eléctrico			Neutro			Medición a 10 kHz * Sistema eléctrico-neutro		
	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3
8,37	20	21	23	25	23	25	51	54	52
7,97	21	23	23	26	26	26	55	56	53
7,17	19	20	17	23	22	21	51	51	49
6,37	10	10	10	13	11	14	39	41	41
4,78	2	-24	-24	-20	-30	-24	18	16	17
3,19	<-40	-38	-40	-40	-40	-35	-2	-5	-1
1,59	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	-20	-5	-5
0	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	<-40	-21	-23	-23

Medición de la mayor descarga en dB 10^{-12} C

Voltaje aplicado en kV	Ø 1				Ø 2				Ø 3			
	Sist. eléc.		Neutro		Sist. eléc.		Neutro		Sist.eléc.		Neutro	
	200kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz
8,37	89	83	95	93	89	80	93	83	91	85	94	94
7,97	91	85	>100	>100	92	83	100	100	94	93	>100	>100
7,17	89	82	97	91	88	79	100	91	90	84	>100	100
4,78	84	81	43	44	52	50	48	41	53	44	53	46

Medición de la capacidad de las tangentes δ

capacidad en 10^{-6} F tg δ en %

Voltaje aplicado en kV	Ø 1		Ø 2		Ø 3	
	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ
8,37	0,303	10,01	0,301	9,98	0,301	9,93
7,97	0,301	9,48	0,300	9,48	0,300	9,45
7,17	0,299	8,56	0,297	8,64	0,297	8,58
6,37	0,298	8,11	0,296	8,18	0,296	8,16
4,78	0,297	7,92	0,295	7,95	0,295	7,93
3,19	0,296	7,86	0,284	7,90	0,294	7,86
1,59	0,284	7,80	0,293	7,81	0,293	7,76
%	3,06	2,21	2,73	2,17	2,73	2,17

Usinas Y Trasmisiones Electricas (URUGUAY)	Medición de los niveles de ionización de las tangentes δ		Prueba nº 7699-51
	Grupo 4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

Medición de los flujos cuadráticos medios

** : dB 10^{-16} C^2/S * : dB 10^{-9} C^2/SF

Voltaje aplicado en kV	Medición a 130 kHz ** Sistema eléctrico			Neutro			Medición a 10 kHz * Sistema eléctrico-neutro		
	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 1	Ø 2	Ø 3
8,37	19	18	19	22	22	22	48	50	51
7,97	16	16	18	21	19	20	50	49	50
7,17	10	11	13	16	14	11	41	41	42
6,37	6	1	8	5	4	6	35	30	36
4,78	-30	-28	-28	-25	-26	-24	10	22	18
3,19	-40	-36	-37	-34	-36	-34	-6	11	-9
1,59	<-40	<-40	-35	-34	-36	-35	-13	-24	-21
0	<-40	<-40	-38	-37	-36	-36	-13	-26	-24

Medición de la mayor descarga en dB 10^{-12} C

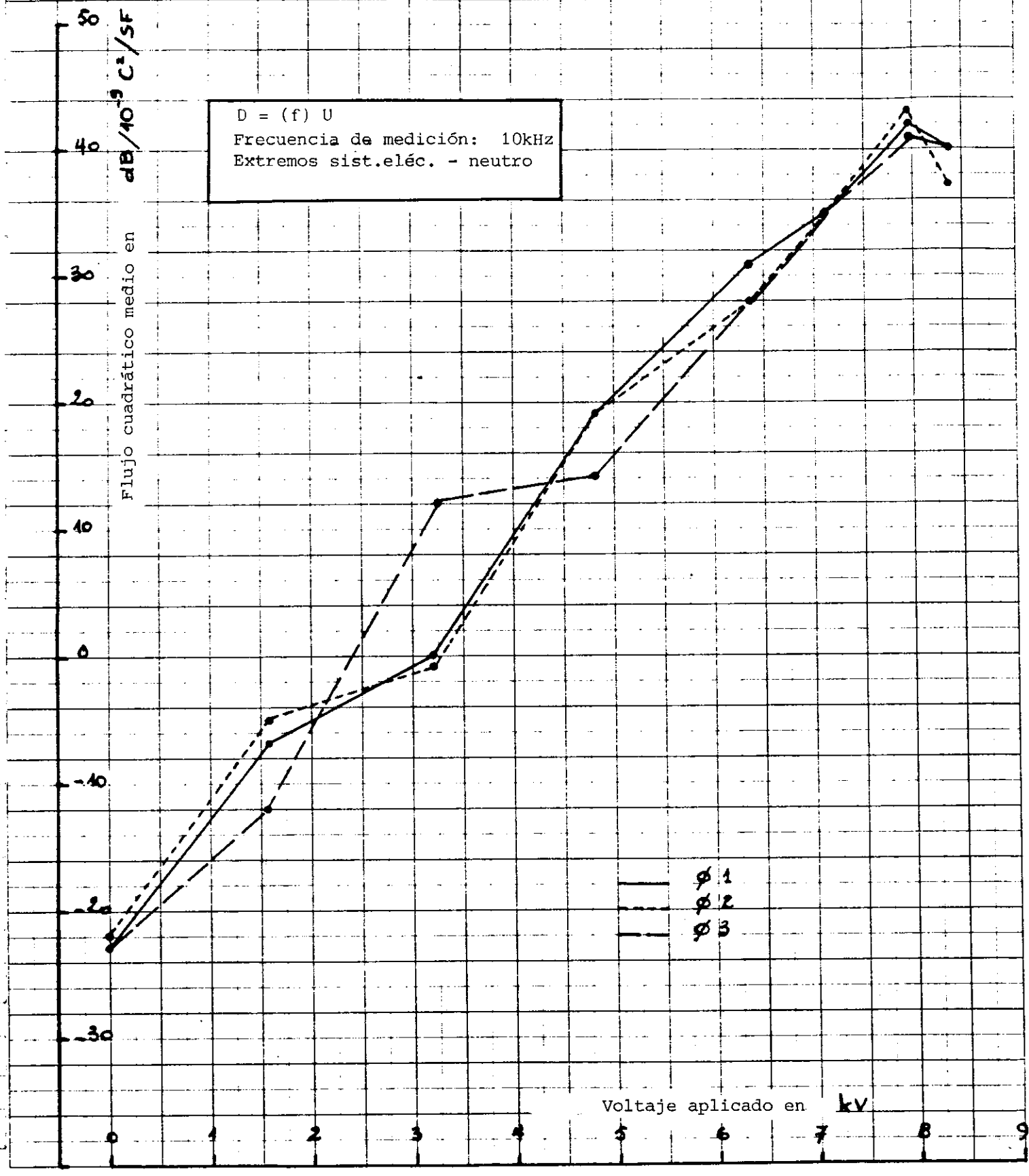
Voltaje Aplicado en kV	Ø 1				Ø 2				Ø 3			
	Sist. eléc.		Neutro		Sist.eléc.		Neutro		Sist. eléc.		Neutro	
	200kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz	200 kHz	1 MHz
8,37	85	76	87	87	81	74	86	86	82	79	86	86
7,97	88	77	86	86	82	75	86	84	84	79	84	80
7,17	82	72	88	87	74	71	80	79	80	73	78	73
4,78	41	41	46	46	50	35	46	46	41	41	44	44

Medición de la capacidad de las tangentes δ

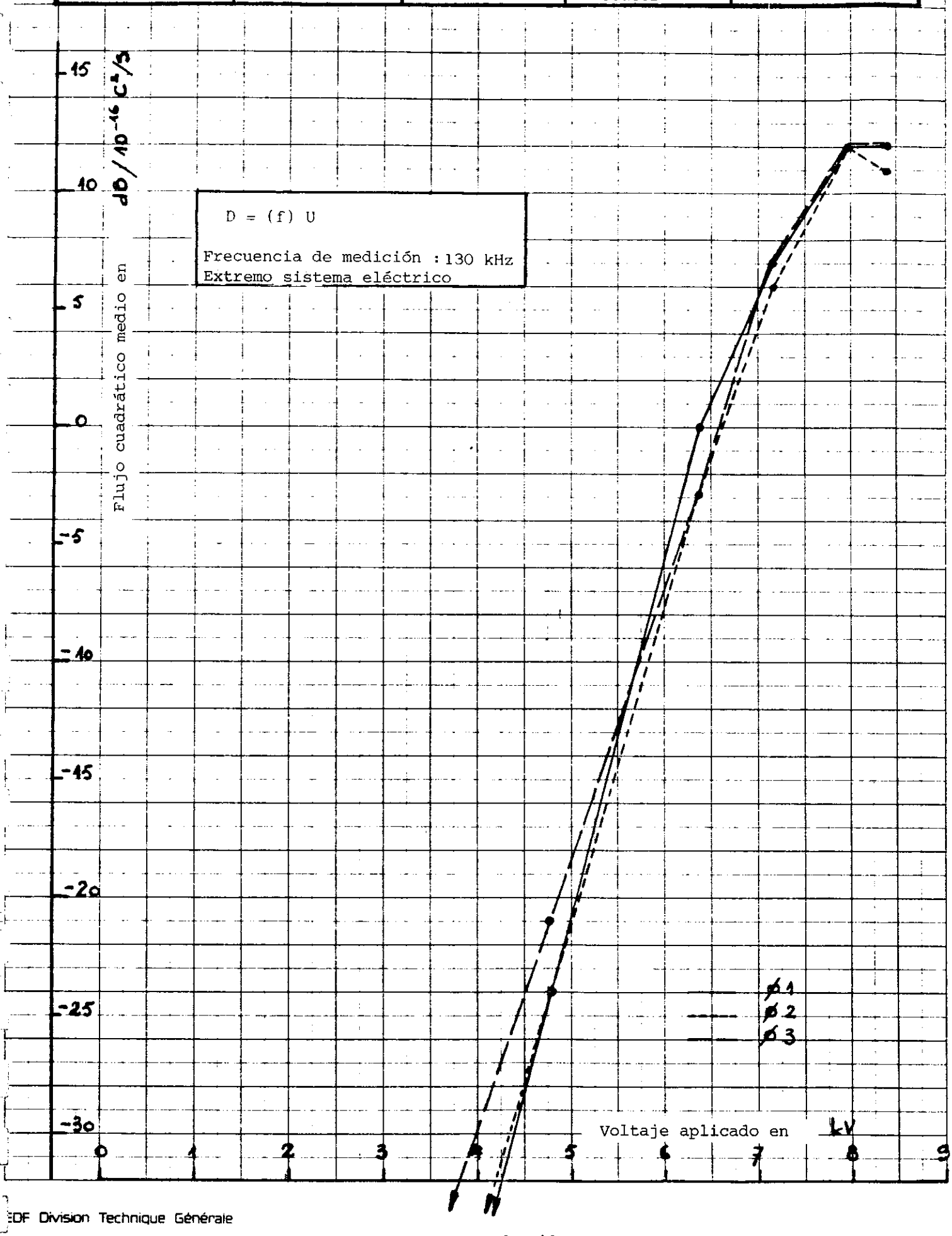
capacidad en 10^{-6} F tg δ en %

Voltaje aplicado en kV	Ø 1		Ø 2		Ø 3	
	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ	Capacidad	tg δ
8,37	0,319	10,45	0,302	10,77	0,304	10,92
7,97	0,317	9,91	0,301	10,30	0,303	10,50
7,17	0,315	9,16	0,299	9,53	0,300	9,64
6,37	0,314	8,95	0,298	9,19	0,300	9,44
4,78	0,313	8,82	0,297	9,07	0,299	9,30
3,19	0,312	8,75	0,296	9,00	0,298	9,23
1,59	0,311	8,65	0,295	8,90	0,297	9,13
%	2,57	1,80	2,37	1,87	2,35	1,79

USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 1	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

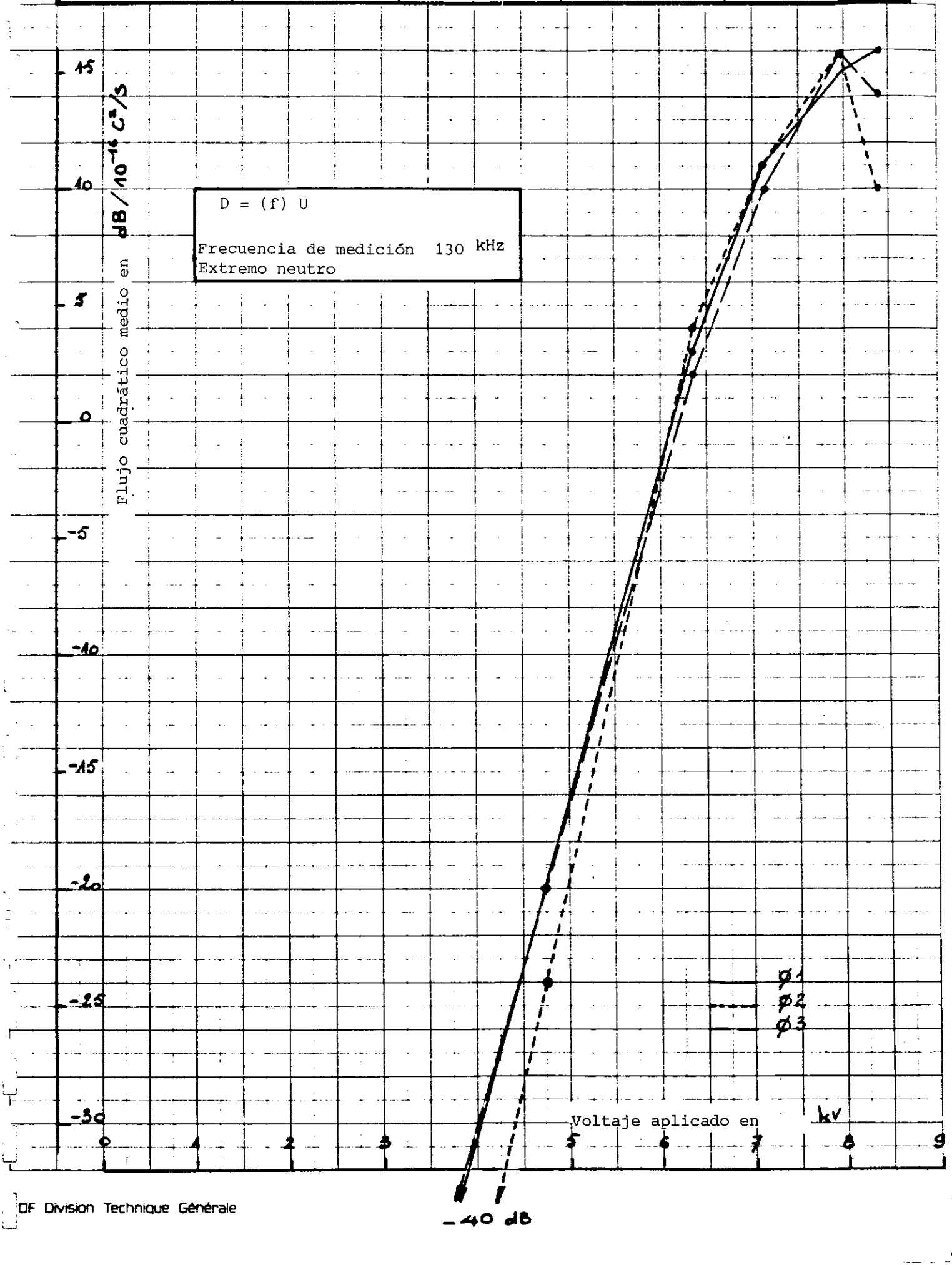


USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización		Prueba nº 7699-1
	Grupo 1	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

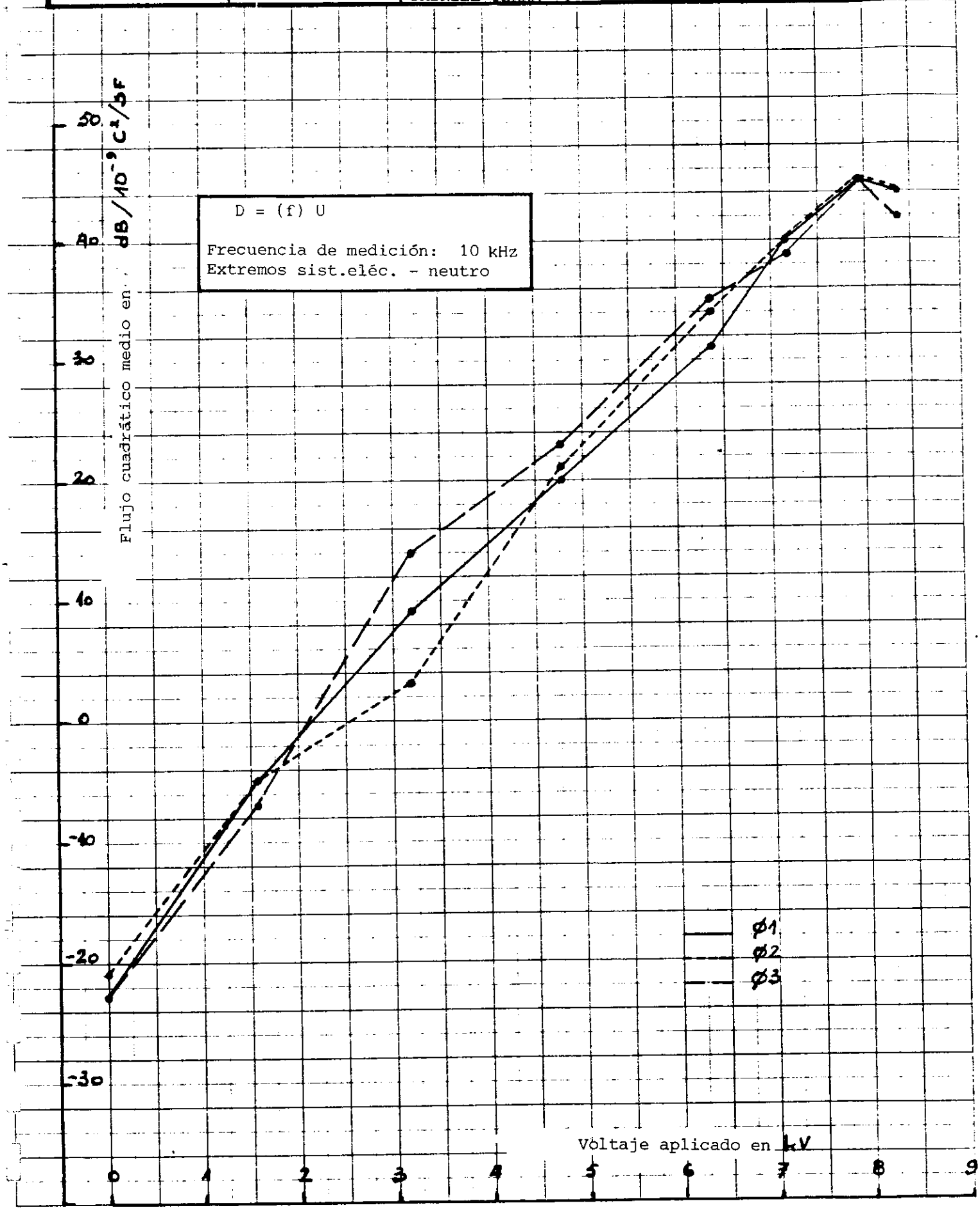


EDF Division Technique Générale

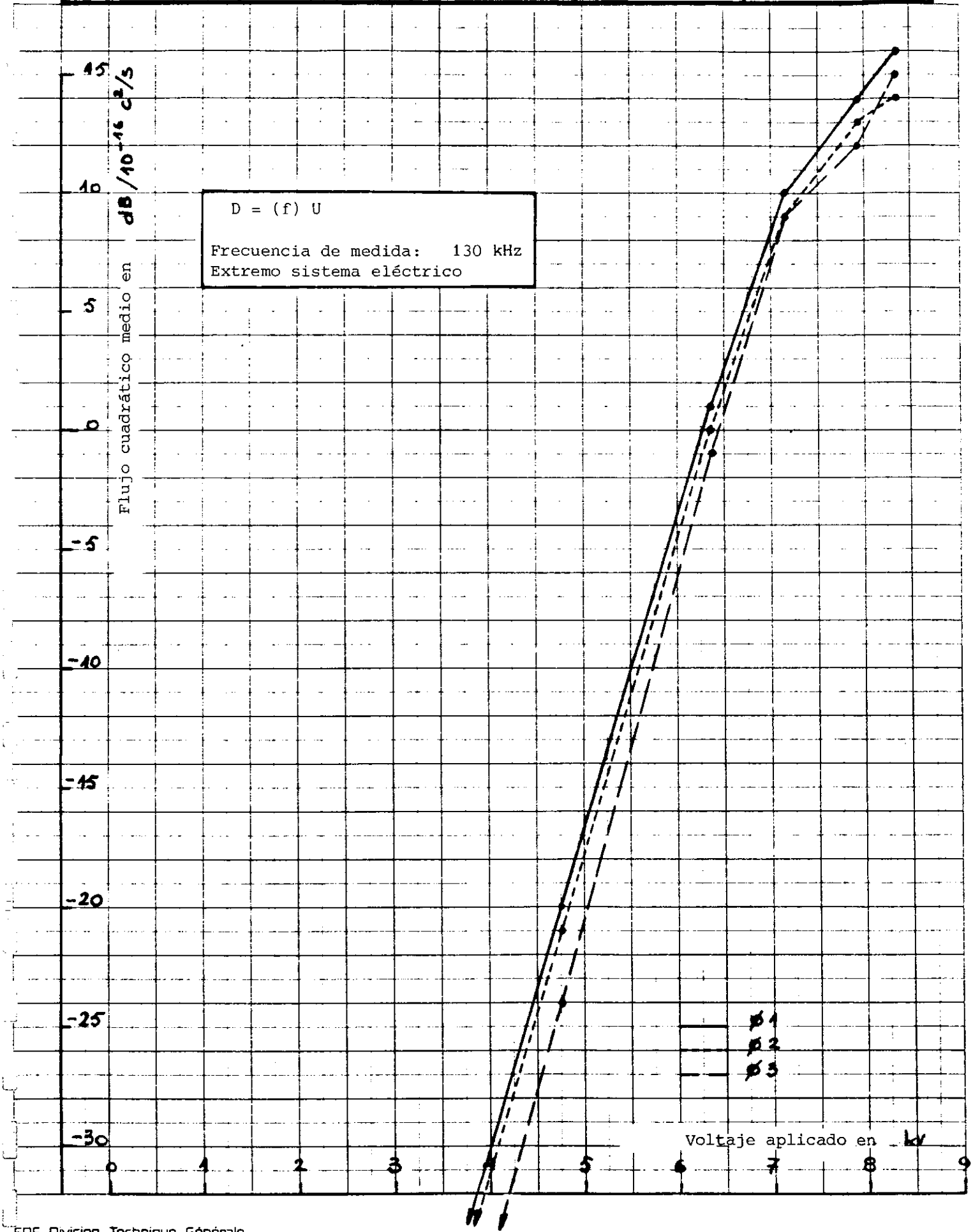
USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evaluación de los niveles de ionización		Prueba nº 7699-51
	Grupo 1	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización		Prueba nº 7699-51
	Grupo 2	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evaluación de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 2	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 2	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84

D = (f) U

Frecuencia de medición: 130 kHz
Extremo neutro

Flujo cuadrático medio en dB /10^{-16} C^2/S

15 10 5 0 -5 -10 -15 -20 -25 -30

Voltaje aplicado en kV

1 2 3 5 6 7 8 9

ϕ1
ϕ2
ϕ3

< -40 dB

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 3

INFORME DTG
OBSERVACIONES ACERCA DE LAS MEDICIONES DE CAUDAL EFECTUADAS EN 1954

ELECTRICITE DE FRANCE
INTERNATIONAL
68, rue du Faubourg Saint-Honoré
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Télex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

ANEXO 3

USINA GABRIEL TERRA

Nota relativa al informe titulado

"Medidas de caudal en la Central Hidroeléctrica de Rincón del Bonete"

Prueba efectuada en abril de 1954 en el grupo 1

La determinación del rendimiento del grupo requiere la medición simultánea del caudal de paso por la turbina, del salto bruto o neto y de la potencia en el eje con aperturas del mecanismo de distribución y del rodete según un valor constante durante la duración de las mediciones. Por todo ello, vamos a examinar las condiciones de ejecución de las mediciones de cada uno de estos parámetros.

1. MEDICION DEL CAUDAL

Se trata aquí del parámetro cuya medición es más delicada y que, por consiguiente, será objeto de los desarrollos más detallados. El método utilizado se funda en la utilización de molinetes dispuestos en una sección de aforo y los caudales medidos por medio de los molinetes sirven para calibrar un dispositivo de control piezométrico de los caudales.

Por lo que se refiere a la utilización de los molinetes, cabe presentar las observaciones siguientes:

- la medición de la geometría de la sección de aforo se ha ejecutado tomando para ello grandes precauciones y no existe motivo alguno para poner en duda los valores de la superficie de las secciones de medición.

- La opción en cuanto a los molinetes utilizados (Ø 120 mm con un paso de 250 mm, Ø 80 mm con un paso de 125 mm) es perfectamente convencional para este tipo de medición. El número de molinetes instalados es inferior al preconizado por la C.E.I. , pero en el caso presente, habida cuenta de la regularidad de la geometría de aducción, la incertidumbre de

de medición únicamente queda aumentada en proporciones sumamente reducidas. La instalación de los molinetes sobre la cruceta sugiere que el método es perfectamente convencional. No obstante, la existencia de un "vacío" de velocidad en el centro de la sección sugiere también que el molinete central podría verse ligeramente frenado, probablemente debido a un soporte demasiado masivo o una lejanía insuficiente del plano de la sección de aforo.

- Es sumamente deplorable que los molinetes se hayan calibrado únicamente hasta 2,5 m/segundo, mientras que la velocidad máxima registrada durante el transcurso de las pruebas alcanza 4,8 m/segundo. Resulta así imposible cifrar con precisión la incertidumbre suplementaria derivada de la extrapolación aun cuando, no obstante, el examen de las curvas de calibración reales de los molinetes de la D.T.G. indica que es muy posible que la misma sea inferior a un 2%.

- La determinación gráfica de la función que permite relacionar la velocidad en la sección de medición con la velocidad nula en paredes, es satisfactoria en cuanto a su principio, pero para poder ser precisa requiere la ejecución de mediciones mediante tubo de Pitot entre el molinete más cercano de la pared y esta última. Por lo general, se observa entonces que el valor de n deducido de este método es mucho más elevado que aquel que cabe deducir del método utilizado en el presente informe, ya que n es generalmente entonces, por lo menos del orden de 10.

- Para poder operar con todo rigor en cuanto a la calibración del control piezométrico de los caudales se hubiese debido operar tomando los caudales medidos en la zona en que se define la calibración de los molinetes. El procedimiento de calibración utilizado presupone, implícitamente, que la extrapolación efectuada respecto a las ecuaciones de los molinetes es legítima, lo cual únicamente constituye una hipótesis. La comparación de los caudales calculados por medio de la calibración obtenida tomando únicamente para ello los valores del caudal para los cuales la ecuación de los molinetes se define con los caudales calculados mediante la calibración obtenida utilizando todos los caudales medidos mediante los molinetes, podría proporcionar, por otro lado, algunos elementos para la apreciación de la valía de la extrapolación de las curvas de calibración de los molinetes. Se hubiese podido también proceder a otros controles para verificar la sensibilidad del control piezométrico en el momento de la apertura del mecanismo de distribución y, por consiguiente, su calidad intrínseca. Sea como fuere, no se puede dejar de comprobar la excepcional estabilidad en el

tiempo del control piezométrico ya que se pone de manifiesto la evolución sumamente reducida del rendimiento de la máquina durante el transcurso del tiempo, lo cual guarda coherencia con el hecho que el conducto hidráulico y el rodete se desgastan muy poco.

- Por lo que respecta a la calibración del control piezométrico de los caudales, los operadores habían observado la gran dificultad existente para efectuar lecturas valederas del desnivel por medio de un manómetro aire/agua. En la actualidad este problema ha perdido una gran parte de su importancia debido a la aparición en el mercado de captadores de presión diferencial que producen una señal eléctrica que se puede integrar durante un periodo bastante largo: la calidad de las mediciones queda mejorada y llega a ser posible efectuar las mediciones de caudal con una precisión aceptable, incluso al tratarse de la zona de las aperturas reducidas en el mecanismo de distribución de la máquina.

- En las pruebas escritas en el presente informe, las correcciones de salto que se han de ejecutar para poner en concordancia el caudal con el valor referencia de 24,60 m son, felizmente, muy reducidas. Efectivamente, cuando se trata de las turbinas Kaplan, esta corrección se efectúa por medio de la relación $Q = Q_O \left(\frac{H}{Ho}\right)^{\alpha}$ y el término α se encuentra mal definido, pero con toda seguridad, es inferior a 0,5. Es preciso proceder a su determinación tomando como punto de partida la colina de características deducida de las pruebas en modelo reducido.

2. MEDICION DEL SALTO

La medición del salto bruto no requiere ningún comentario particular.

3. MEDICION DE LA POTENCIA EN EL EJE

El informe es sumamente breve respecto a este tema y, por consiguiente, resulta difícil hacerse una opinión acerca de la calidad de las mediciones.

- Se ignora el tipo de montaje utilizado (medidor monofásico o medidor que funciona según el método de los dos vatímetros);

- Se ignora como se han tenido en cuenta las pérdidas en el generador y cuál era el coseno φ del transcurso de la medición;

- No se hace mención en ningún sitio respecto a si se han tenido en cuenta o no las pérdidas en el soporte y en el pivote.

Si las mediciones de potencia efectuadas en 1954 fuesen suficientemente detalladas para reconstituir las potencias en el eje, estas pruebas hubiesen permitido efectuar una de las mediciones de rendimiento absoluto capaces de permitir una discusión de carácter comercial con el proveedor de las turbinas, ya que el conjunto de las mediciones presenta una calidad perfectamente suficiente para ello.

4. MEDICION DE LA FRECUENCIA

En el texto del informe se hace mención de las mediciones de frecuencia ejecutadas al mismo tiempo que el conjunto de las demás mediciones. Por otra parte, los valores de la frecuencia no se indican en ningún sitio. Ahora bien, llegado el caso, la corrección de la frecuencia se debe tener en cuenta del mismo modo que la corrección de salto. No existe ningún elemento que permita apreciar si dicha corrección se justificaba o no (frecuencia que no se separa de forma significativa de la frecuencia nominal) o bien, si las pruebas contienen un error suplementario no mencionado en el informe.

5. CALCULO DE ERROR

Sería preciso emprender de nuevo el conjunto de los cálculos de error ya que, efectivamente:

- ciertos errores se evalúan a partir de datos poco precisos, como así ocurre con aquéllos relacionados con los caudales: no se indica ninguna apreciación respecto al número reducido de molinetes ni acerca de la incertidumbre relacionada con la extrapolación de las curvas de calibración de los molinetes;

- el cálculo de error respecto a la potencia parece discutible, pero el informe no permite apreciar los elementos considerados en el cálculo;

- la composición de los errores parciales que entran en la determinación del error en una de las magnitudes es errónea (no se utiliza la ley cuadrática);

- se ignora el hecho que un valor de incertidumbre únicamente se conoce con cierta probabilidad. Sin embargo, sería posible delimitar de mejor modo el error probable utilizando este medio.

6. COMENTARIOS RELATIVOS A LA COMPARACION ENTRE LOS DATOS DEL CONSTRUCTOR Y LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

El informe propone un valor de rendimiento máximo en las condiciones óptimas de funcionamiento del grupo, de 87,4%, mientras que Morgan y Smith presentan una colina en la cual el rendimiento máximo es del orden de un 93,5%. Habida cuenta de las escalas que figuran en esta colina el documento M y S es muy probablemente una colina transpuesta y, por consiguiente, se puede comparar en principio con los resultados de las pruebas, y ello con la condición que la máquina y el modelo sean geométricamente semejantes.

Si se establece esta hipótesis, se debe admitir que los valores indicados por M y S son verosímiles:

- no se dispone, por parte de E.D.F. de ninguna referencia de máquina que se reporte a esta época y que alcance rendiminentos semejantes. Los valores normalmente encontrados son inferiores de, por lo menos, dos a tres puntos:

- el hecho que la cubierta de rodete sea cilíndrica en su parte superior da lugar a pérdidas suplementarias en la turbina, pérdidas que están lejos de ser insignificantes.

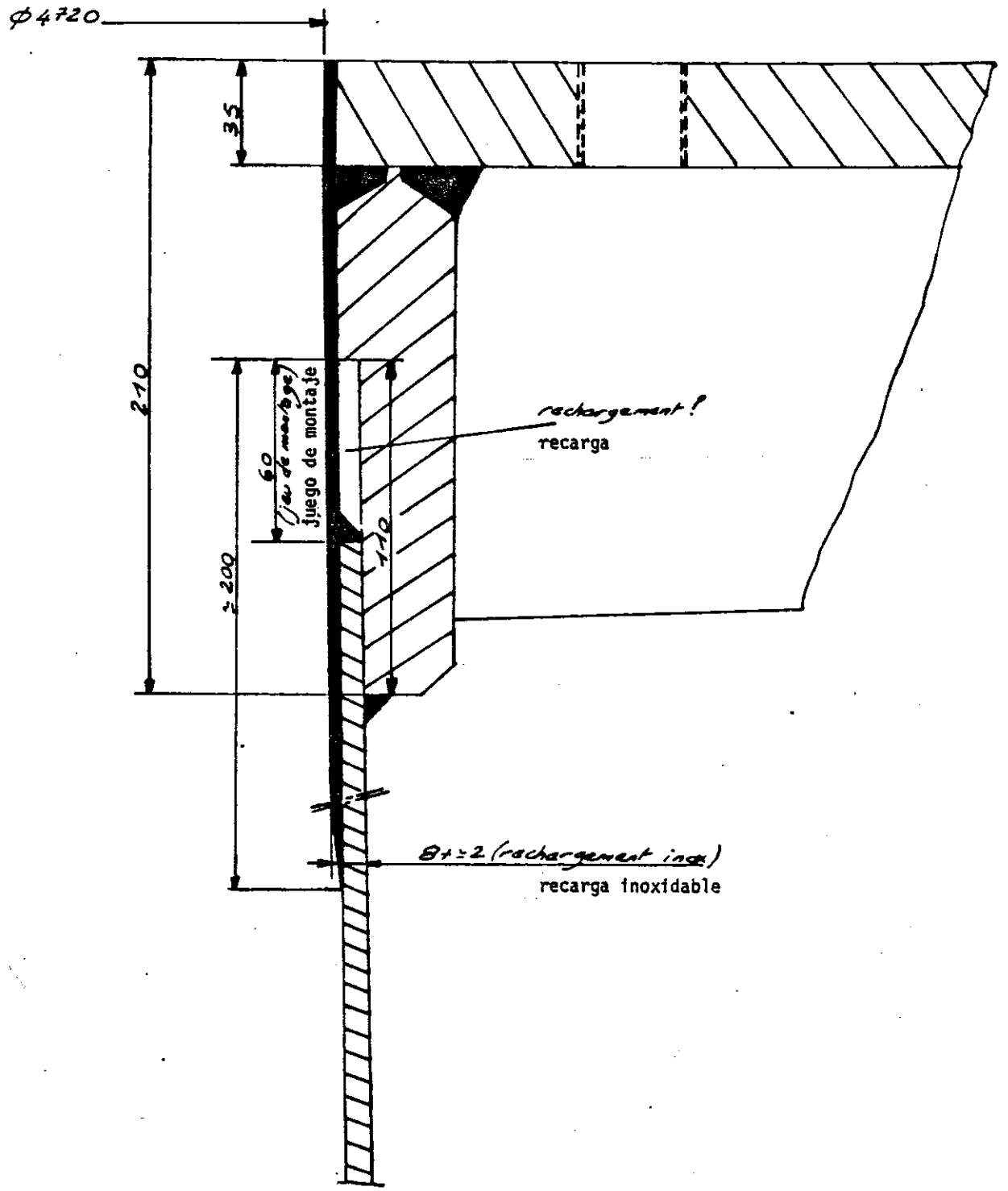
Debido a todo ello, parece perfectamente verosímil el valor del rendimiento en las condiciones óptimas que ha encontrado U.T.E.

CONCLUSION

A pesar de las observaciones presentadas en los apartados anteriores, cabe reconocer que el trabajo efectuado por U.T.E. durante el transcurso de las pruebas de 1954 es sumamente destacado, habida cuenta de la falta de experiencia del equipo de pruebas, ya que se ha sabido evitar cualquier error grosero y adquirido de este modo, con motivo de las pruebas efectuadas, una experiencia apreciable.

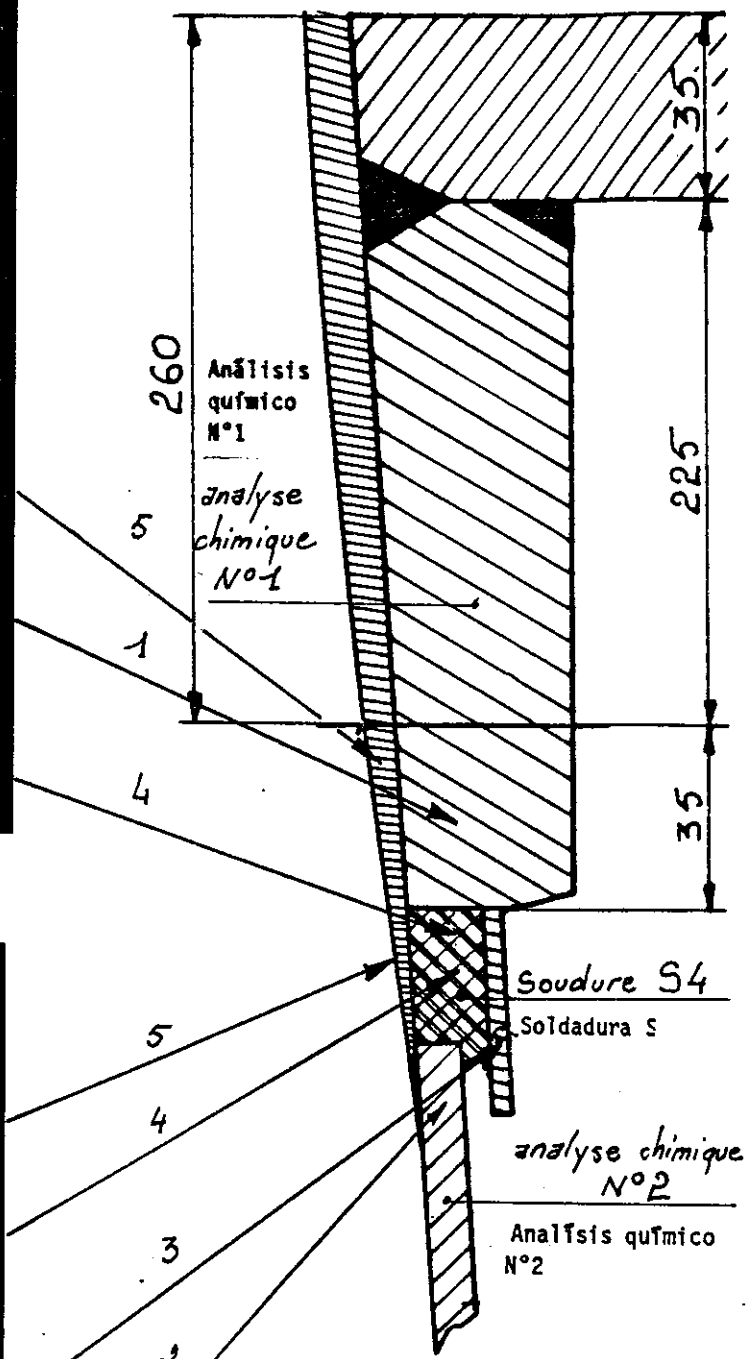
Conception de l'aspirateur

DISEÑO DEL ASPIRADOR



Cliché 2-1 G ≠ 4 - Rechargement criqué dans la 1ère couche

MACROGRAFIAS

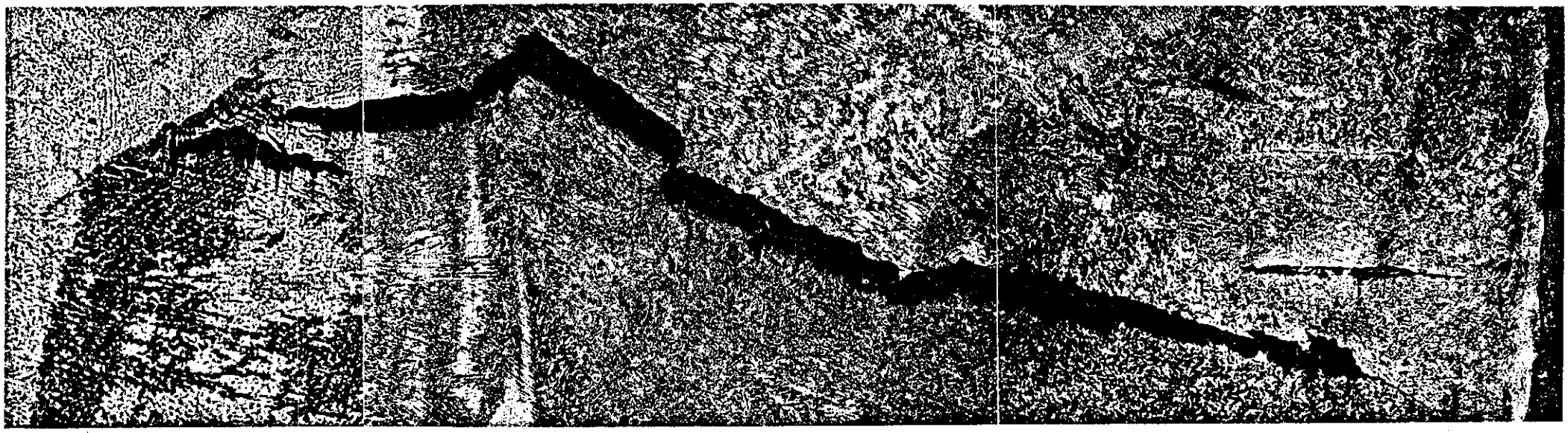


1 : tôle manteau de roue (e ≃ 25)
2 : tôle aspirateur (e ≃ 8)
3 : latte support (e ≃ 3)
4 : soudure liaison manteau/aspirateur
5 : rechargement "20/10"

Cliché 2-2 G # 4 - Soudure de liaison S4

1. Chapa cubierta de rodete (e ≃ 25)
2. Chapa aspirador (e ≃ 8)
3. Listón de soporte (e ≃ 3)
4. Soldadura de enlace cubierta de rodete/aspirador
5. Recarga "20/10"

Fotografía 2-2 G ≠ 4 - Soldadura de enlace S4



Cliché 3-1 G ≠ 80 - Fissuration à chaud repérée 1 sur cliché 3-2
Celle-ci s'est développée dans une structure mixte austenite/martensite
On remarque à gauche la structure austenoferritique obtenue hors dilution

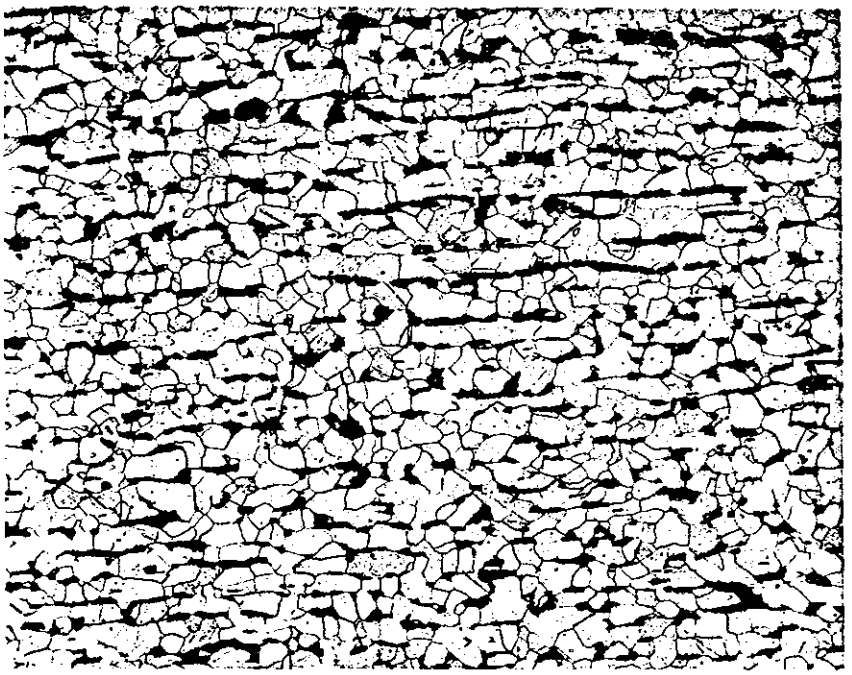
Fotografía 3-1 G ≠ 80 - Fisuración en caliente según referencia 1 en fotografía 3-2. La fisuración se ha desarrollado en una estructura mixta austenita/martensita. A la izquierda, se observa la estructura austeno-ferrítica obtenida fuera de la dilución.

Cliché 3-2 G ≠ 12
Fissurations interdendritiques observées dans la 1ère couche du rechargement

Fotografía 3-2 G ≠ 12
Fisuraciones interdendríticas observadas en la 1ra. capa de recarga

Cliché 3-3
G ≠ 80
Ségrégation interdendritique repérée 2 sur cliché ci-contre

Fotografía 3-3 G ≠ 80
Segregación interdendrítica según referencia 2 en la fotografía adjunta.



Cliché 4-1 G = 100 - Structure ferrite-perlite du manteau de roue repère 1

Fotografía 4-1 G = 100 - Estructura ferrita-perlita de la cubierta de rodete, referencia 1

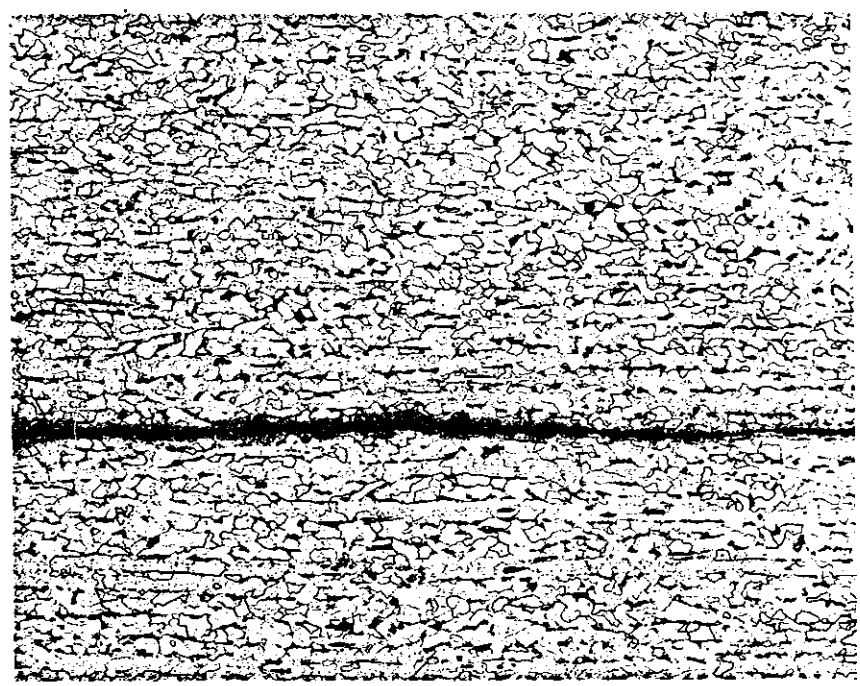
Analyse chimique

Análisis químico

C %	0,17
Si	0,02
Mn	0,32
S	0,035
P	0,016
Pb	0,0005

Dureté moyenne HV_{30N} = 113

Dureza media HV_{30N} = 113



Cliché 4-2 G = 100 - Structure ferrite-perlite de la tôle de l'aspirateur. On remarque la présence d'une importante inclusion allongée

Fotografía 4-2 G = 100 - Estructura ferrita-perlita de la chapa del aspirador.
Se observa la presencia de una importante inclusión alargada.

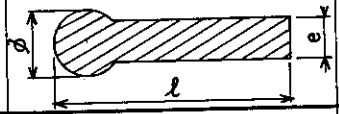
Analyse chimique

Análisis químico

C %	0,10
Si	0,02
Mn	0,32
S	0,040
P	0,019
Pb	0,0013

Dureté moyenne HV_{30N} = 136

Dureza media HV_{30N} = 136

Fournisseur	Dimensions (1) 	Poids au mètre en kg	Quantités mini		Laminé à chaud	Etiré à froid	Nuance	Prix au kg H.T. (Juillet 67)	Frais d'outillage	Observations
			Tonnes	Mètres						
Forges de CLAIRVAUX 6, rue de Léningrad PARIS 8e Tél. 387-42-99	Ø 10 x 60 x 5	2,68	20	7 700	x		Adx	0,79	8 500	Toute autre dimension et nuance à la demande pour P > 20 T barres jusqu'à 8 m
	Ø 13 x 80 x 7	4,850	20	4 200	x		Adx	0,78	20 300	
	Ø 17 x 100 x 10	8,490	20	2 400	x		Adx	0,78	20 300	
GILMARFER 7 ter Cours des petites écuries PARIS 10e Tél. 770-27-89	Ø 28 x 120 x 20	19,4	30	1 545	x		Adx	0,935	23 937,50	Dimensions intermédiaires et autres nuances à la demande pour P > 25 à 30 T
	Ø 7 x 60 x 5	2,38	20	8 400	x		Adx	0,990	8 562,50	
R. BUJON 96, rue de Verdun 94 - CHAMPIGNY Tél. 706-15-18	Ø 7,5 x 60 x 5	2,38				x	A37	3,97	450	Toute autre dimension et nuance à la demande. Barres 3 à 5 m
	Ø 30 x 120 x 20	19,880				x	A37	3,51	900	
L'ETIRAGE 26, rue du Cdt Rolland 93 - LE BOURGET Tél. 284-10-50	Ø 10 x 60 x 5	2,680		300	x		XC101	2,59	1 080	Barres ⩽ 5,700 m
	" " "			1 000	x		"	2,46	"	" "
	Ø 13 x 80 x 7	4,850		300	x		"	2,24	1 240	" "
	" " "			1 000	x		"	2,17	1 240	" "
	Ø 17 x 100 x 10	8,490		300	x		"	2,07	1 320	" "
	" " "	"		1 000	x		"	2,00	1 320	" "
	Ø 30 x 120 x 20	19,880		300	x		"	2,33	1 720	Barres ⩽ 4 m
	" " "	"		1 000	x		"	2,30	1 720	" "
CEFILAC 30, av. de Messine PARIS 8e Tél. 352-35-39	Ø 10 x 60 x 5	2,680		100	Filé à chaud		A37	3,03	80	Longueur 2,50 m 0 6m
	" " "	"		1 000			"	2,95	"	
	Ø 13 x 80 x 7	4,850		100			"	2,58	"	
	" " "	"		1 000			"	2,47	"	
	Ø 17 x 100 x 10	8,490		100			"	2,43	"	
	" " "	"		1 000			"	2,36	"	
	Ø 30 x 120 x 20	19,880		100			"	2,43	"	
	" " "	"		1 000			"	2,36		

(1) Les dimensions ci-dessus sont données à titre indicatif ; pour d'autres dimensions et nuances consulter les fournisseurs.

G. TERRA - Groupe n° 4

Examen métallographique

de la liaison manteau/aspirateur

GC/FF 30/05/84

G. TERRA - Groupe n° 4
Examen métallographique
de la liaison manteau/aspirateur

OBJET

Examen métallographique d'un échantillon prélevé sur l'aspirateur (voir annexe 1-1) afin de vérifier d'une part la géométrie et la qualité de la soudure de montage S4 (liaison manteau/aspirateur) et d'autre part la soudabilité des matériaux de base en présence.

CONTROLES REALISES

- Examens macrographiques
- Micrographies, mesures de dureté, analyses chimiques

RESULTATS

1°) Soudure de montage S4

La géométrie de la soudure S4 révélée par attaque macrographique (voir annexe 2) est très différente du plan de montage qui prévoyait un emboîtage de la tôle aspirateur dans le manteau de roue, la liaison étant assurée par des soudures à clin (voir annexe 1-2).

En fait, l'aspirateur n'étant pas suffisamment long pour permettre cet emboîtage, le montage a vraisemblablement été réalisé comme indiqué sur le schéma en annexe 1-1. La soudure exécutée sur plat d'appui au moyen d'électrodes non ou faiblement alliées contient de nombreux défauts volumiques et surtout un manque de liaison quasi continu en partie supérieure résultant probablement des difficultés de soudage en position plafond.

2°) Rechargement en acier inoxydable

La macrographie réalisée sur le rechargement du manteau révèle la présence de criques dans la première couche de métal déposé (voir cliché 2-1). Ces défauts apparaissent sur les micrographies de l'annexe 3 dans une structure martensitique ou austénite/martensite qui peut se former dans le cas d'une forte dilution entre le métal de base (acier ordinaire à 0,17% C) et un métal d'apport austenoferritique.

Les fissurations de type interdendritique résultent probablement d'un mécanisme de fissuration à chaud rendu possible par une teneur en soufre du métal de base assez élevée (0,035), une forte dilution et peut-être une teneur en ferrite du métal d'apport insuffisante.

3°) Matériaux de base

Les micrographies des échantillons prélevés sur le manteau et l'aspirateur correspondent dans les deux cas à une structure d'acier ordinaire ferrite-perlite (voir annexe 4). Les analyses chimiques révèlent des teneurs en carbone modérées et des teneurs en soufre assez élevées (0,035 et 0,040) se traduisant par la présence de quelques inclusions allongées (voir cliché 4-2). Les duretés obtenues conduisent respectivement pour le manteau et l'aspirateur à des résistances équivalentes de 400 et 470 MPa.

CONCLUSIONS

La soudure de montage manteau/aspirateur n'est pas conforme au plan de montage et présente un manque de fusion quasi-continu en partie supérieure. Compte tenu des résultats d'analyse chimique la soudabilité des matériaux de base vis-à-vis du risque de fissuration à froid est satisfaisante ; un simple dégourdissage à 80° C avant soudage semble suffisant pour se prémunir d'une fissuration en zone affectée thermiquement.

Au contraire, leur soudabilité vis-à-vis du risque de fissuration à chaud semble être médiocre. Aussi en cas de rechargement ou de soudage à l'aide de matériaux d'apport inoxydables de type austenoferritique, il sera nécessaire de prendre les précautions ci-dessous pour déposer les premières couches (beurrage) :

. métal d'apport à forte tendance ferritique,

. enrobage basique ou à défaut rutilo-basique,

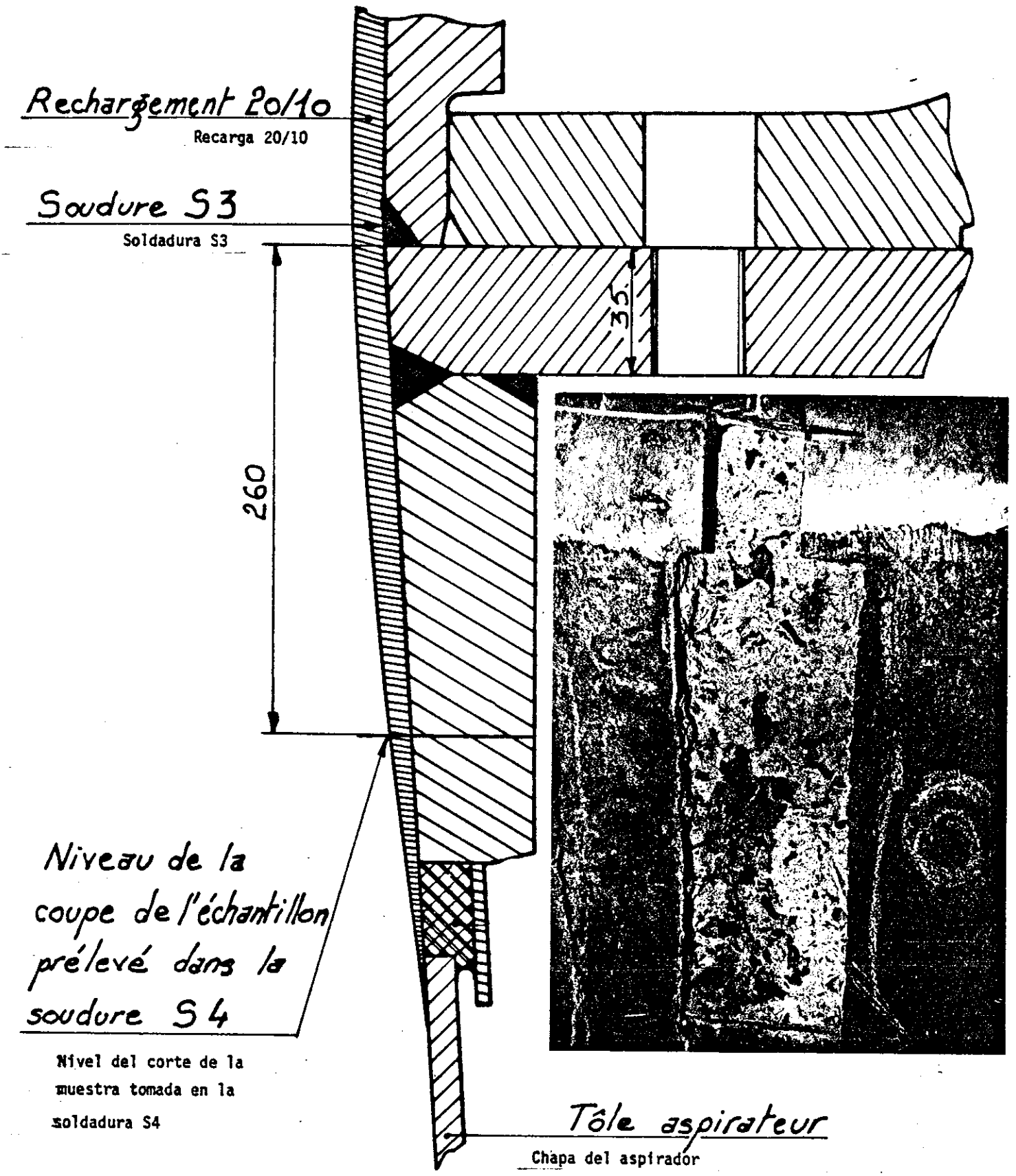
. faible dilution c'est-à-dire utilisation d'un procédé de soudage à pénétration limitée (électrode enrobée Ø 3,2 maxi avec faible intensité).

Des électrodes en acier austenoferritique (1) du type 24-12 (24 % Cr, 12 % Ni) ayant une teneur moyenne en ferrite de 10 à 12 % devraient convenir pour réaliser un beurrage de ces matériaux de base avant réalisation de la soudure d'assemblage tôle rapportée (acier Z6CNDI8-10)/tôle aspirateur qui serait exécutée avec des électrodes du type 18-8-3 (2)

(1) : par exemple SAFINOX RCN 24-12 S de la SAF
(2) : par exemple SAFINOX RCND 18-8-3 de la SAF

Emplacement du prélèvement

EMPLAZAMIENTO DE LA TOMA DE MUESTRA



LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES
FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882 MODIFIÉ LE 7 JUIN 1942
ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETTI A L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE
33, AV. DU GÉNÉRAL LECLERC · 92260 FONTENAY-AUX-ROSES (HAUTS DE-SEINE) FRANCE
TÉLÉPHONE : 645.21.84 (LIGNES GROUPÉES)
* 645.61.01 (GARDIENS)
TELEX : LABELEC 250080 F
CH. POSTAUX LA SOURCE 31 098 10
N° D'IDENT. 785 357 883 00012

RAPPORT D'ESSAIS : 274261

DELIVRE A : ELECTRICITE DE FRANCE SPH RUE DE MIROMESNIL

ANALYSES DE GAZ PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

POSTE OU CENTRALE	TRANSFORMATEUR	PRELEVEMENT DU
VERGONAY	T1	1984 5

CONCENTRATIONS EN MICROMOLE/LITRE

GAZ ANALYSES		HUILE PHASE A	HUILE PHASE B	HUILE PHASE C	GAZ
H2	HYDROGENE	<.1	.12	<.1	
O2	OXYGENE	1300	1200	1300	
N2	AZOTE	3000	3000	2900	
CO	MONOXYDE C	<30	TRACES	<30	
CO2	DIOXYDE C	260	320	120	
CH4	METHANE	.25	1.5	.39	
C2H6	ETHANE	.11	1.8	.11	
C2H4	ETHYLENE	.71	1.6	1.2	
C2H2	ACETYLENE	<.02	<.02	<.02	
C3H8	PROPANE	.06	2.4	.65	
C3H6	PROPENE	.23	2.2	.53	
C3H4	PROPADIENE	<.02	.03	TRACES	
C3H4	PROPYNE	<.02	TRACES	<.02	

REMARQUE

RIEN A SIGNALER.

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ELECTRIQUES
FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882
274261

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882 MODIFIÉ LE 7 JUIN 1942

ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETTI A L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE

33, AV. DU GÉNÉRAL LECLERC · 92260 FONTENAY-AUX-ROSES (HAUTS DE-SEINE) FRANCE

TÉLÉPHONE : 645.21.84 (LIGNES GROUPÉES)
645.61.01 (GARDIENS)

TELEX : LABELEC 250080 F

CH. POSTAUX LA SOURCE 31 09 11 10

Nº D'IDENT 785 357 943 00012

RAPPORT D'ESSAIS : 274261

DELIVRE A : ELECTRICITE DE FRANCE SPH RUE DE MIROMESNIL

ANALYSES DE GAZ PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

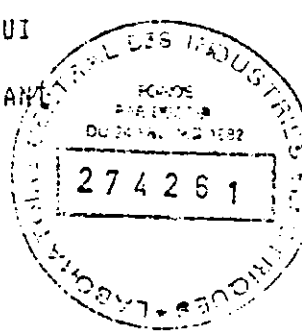
POSTE OU CENTRALE	TRANSFORMATEUR	PRELEVEMENT DU
URUGUAY	T2	1984 5

CONCENTRATIONS EN MICROMOLE/LITRE

GAZ ANALYSES	HUILE PHASE A	HUILE PHASE B	HUILE PHASE C	GAZ
H2 HYDROGENE	1.2	.79	.1	
O2 OXYGENE	460	190	1000	
N2 AZOTE	3300	3300	2700	
CO MONOXYDE C	30	<30	<30	
CO2 DIOXYDE C	530	78	190	
CH4 METHANE	.69	17	1.1	
C2H6 ETHANE	.51	79	.17	
C2H4 ETHYLENE	3.1	3.1	2	
C2H2 ACETYLENE	<.02	<.02	<.02	
C3H8 PROPANE	1.8	110	.86	
C3H6 PROPENE	6.5	11	1.2	
C3H4 PROPADIENE	<.02	<.02	<.02	
C3H4 PROPYNE	<.02	<.02	<.02	

REMARQUE

PHASE A: LEGER EFFET THERMIQUE.
PHASE B: LES CONCENTRATIONS EN HYDROCARBURES SATURES SONT ELEVEES,CE QUI PEUT TRADUIRE,SOIT UN PHENOMENE THERMIQUE AVEC OXYDATION DE L'HUILE , SOIT LA PRESENCE DE NOMBREUSES PETITES DECHARGES PARTIELLES SE PRODUISANT DANS DES VACUOLES,SI L'ON ADMET QU'IL Y A PU AVOIR FUITE D'HYDROGENE.
APPAREIL A SURVEILLER.
PHASE C: RIEN A SIGNALER.



LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES
FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882 MODIFIÉ LE 7 JUIN 1942
ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETTI A L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE
33, AV. DU GÉNÉRAL LECLERC - 92260 FONTENAY-AUX-ROSES (HAUTS DE-SEINE) FRANCE
TÉLÉPHONE : 645.21.84 (LIGNES GROUPÉES)
645.61.01 (GARDIENS)
TELEX : LABELEC 250080 F
CH. POSTAUX LA SOURCE 31 098 10
Nº D'IDENT. 785 357 993 00012

RAPPORT D'ESSAIS : 274261

DELIVRE A : ELECTRICITE DE FRANCE SPH RUE DE MIROMESNIL

ANALYSES DE GAZ PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

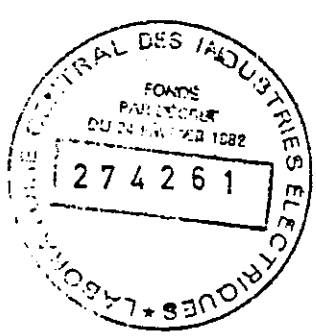
POSTE OU CENTRALE	TRANSFORMATEUR	PRELEVEMENT DU
URUGUAY	T3	1984 5

CONCENTRATIONS EN MICROMOLE/LITRE

GAZ ANALYSES	HUILE PHASE A	HUILE PHASE B	HUILE PHASE C	GAZ
H2 HYDROGENE	<.1	.14	<.1	
O2 OXYGENE	1100	1100	1300	
N2 AZOTE	2700	2800	2700	
CO MONOXYDE C	<30	<30	<30	
CO2 DIOXYDE C	240	150	110	
CH4 METHANE	.15	.23	.12	
C2H6 ETHANE	.27	.26	.12	
C2H4 ETHYLENE	2.3	.35	.05	
C2H2 ACETYLENE	<.02	<.02	<.02	
C3H8 PROPANE	2.3	.88	.12	
C3H6 PROPENE	2.8	1.1	.24	
C3H4 PROPADIENE	<.02	<.02	<.02	
C3H4 PROPYNE	<.02	<.02	<.02	

REMARQUE

PHASE A ,B ,C ;RIEN A SIGNALER



LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882 MODIFIÉ LE 7 JUIN 1932

ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETTI À L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE

33, AV. DU GÉNÉRAL LECLERC · 92260 FONTENAY-AUX-ROSES (HAUTS-DE-SEINE) FRANCE

TÉLÉPHONE : 645.21.84 (LIGNES GROUPÉES)
645.81.01 (GARDIENS)

TELEX : LABELEC 250080 F

CH. POSTAUX LA SOURCE 31 098 10

N° D'IDENT 785 397 943 00012

RAPPORT D'ESSAIS : 274261

DELIVRE A : ELECTRICITE DE FRANCE SPH RUE DE MIROMESNIL

ANALYSES DE GAZ PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

POSTE OU CENTRALE	TRANSFORMATEUR	PRELEVEMENT DU
URUGUAY	T4	1984 5

CONCENTRATIONS EN MICROMOLE/LITRE

GAZ ANALYSES	HUILE PHASE A	HUILE PHASE B	HUILE PHASE C	GAZ
H2 HYDROGENE	<.1	<.1	TRACES	
O2 OXYGENE	1300	1400	1400	
N2 AZOTE	2700	2800	3000	
CO MONOXYDE C	<30	<30	TRACES	
CO2 DIOXYDE C	72	66	300	
CH4 METHANE	.12	.07	.37	
C2H6 ETHANE	.05	.05	.36	
C2H4 ETHYLENE	.18	.39	.71	
C2H2 ACETYLENE	<.02	<.02	<.02	
C3H8 PROPANE	.06	.4	1.5	
C3H6 PROPENE	.13	.2	1.3	
C3H4 PROPADIENE	<.02	<.02	<.02	
C3H4 PROPYNE	<.02	<.02	<.02	

REMARQUE

PHASE A ,B , C ;RIEN A SIGNALER

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ELECTRIQUES ★ FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1882 274261

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 5 a

INFORME L C I E
ANALISIS CROMATOGRAFICO DE LOS GASES DISUELTOS EN EL ACEITE DE LOS TRANSFORMADORES DE LA USINA Dr. GABRIEL TERRA

ELECTRICITE DE FRANCE

EDF INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honoré
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Telex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

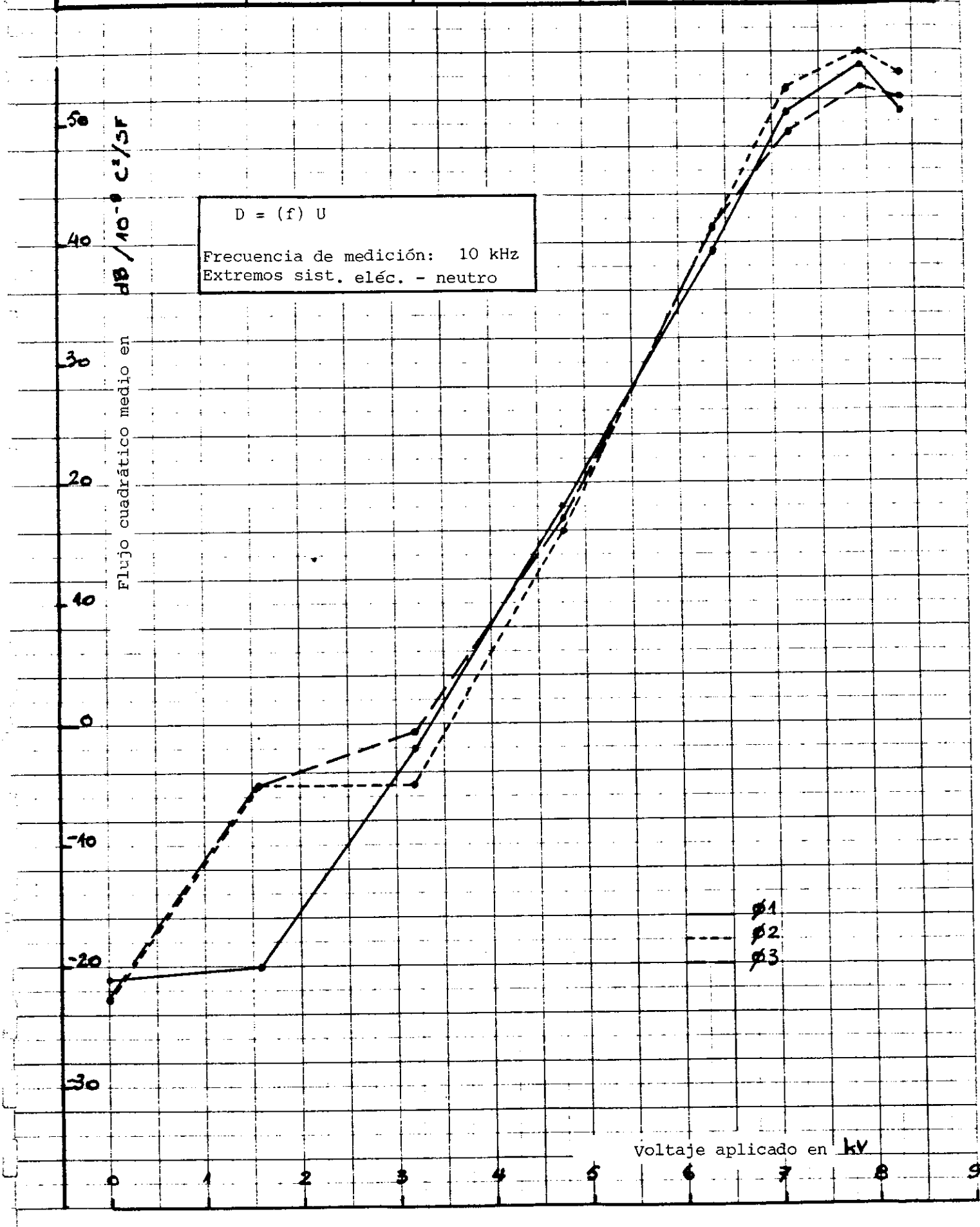
GABRIEL TERRA

ANNEXE 5a

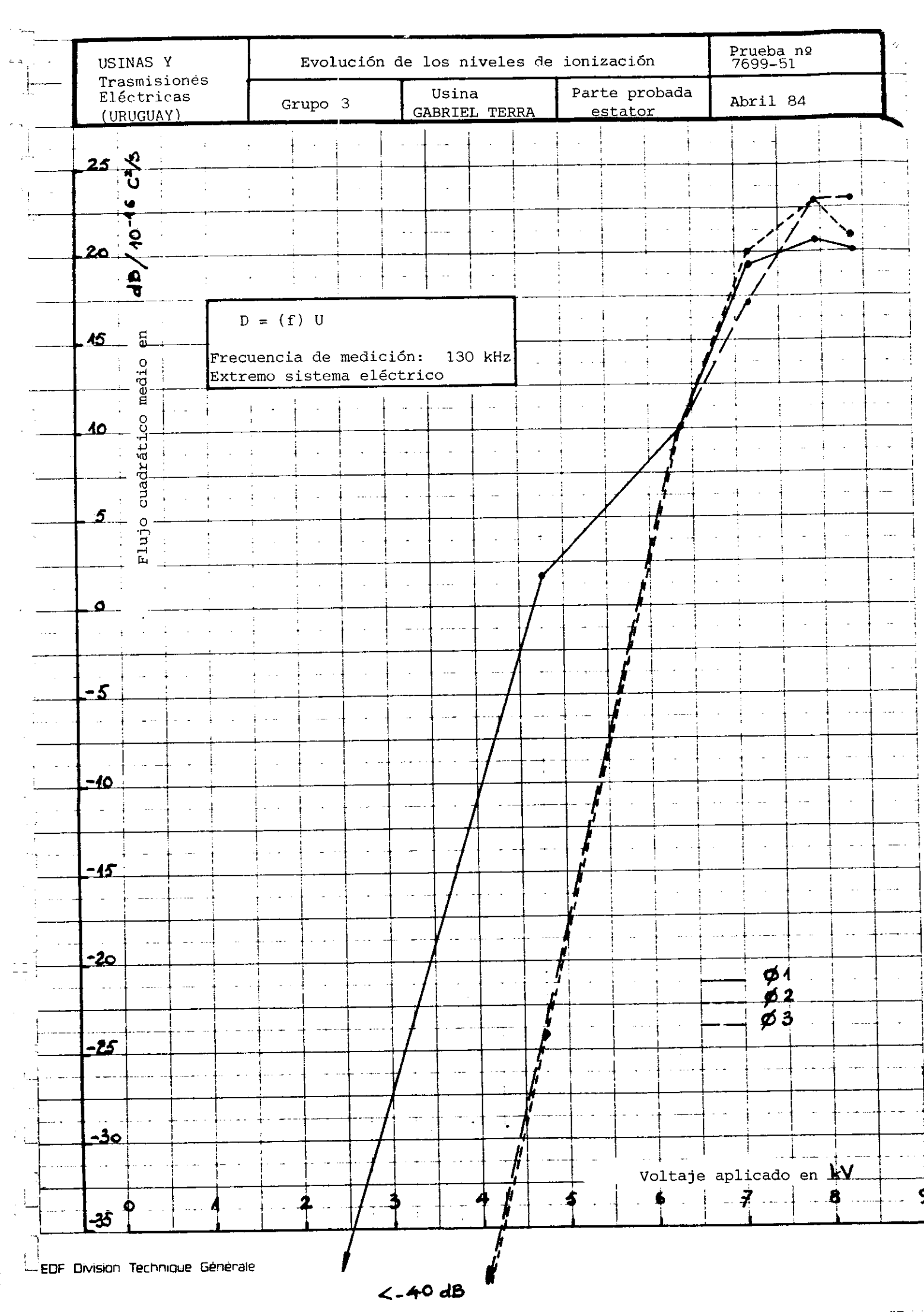
ANALYSE CHROMATOGRAPHIQUE DES HUILES TRANSFORMATEURS

MAI 1984

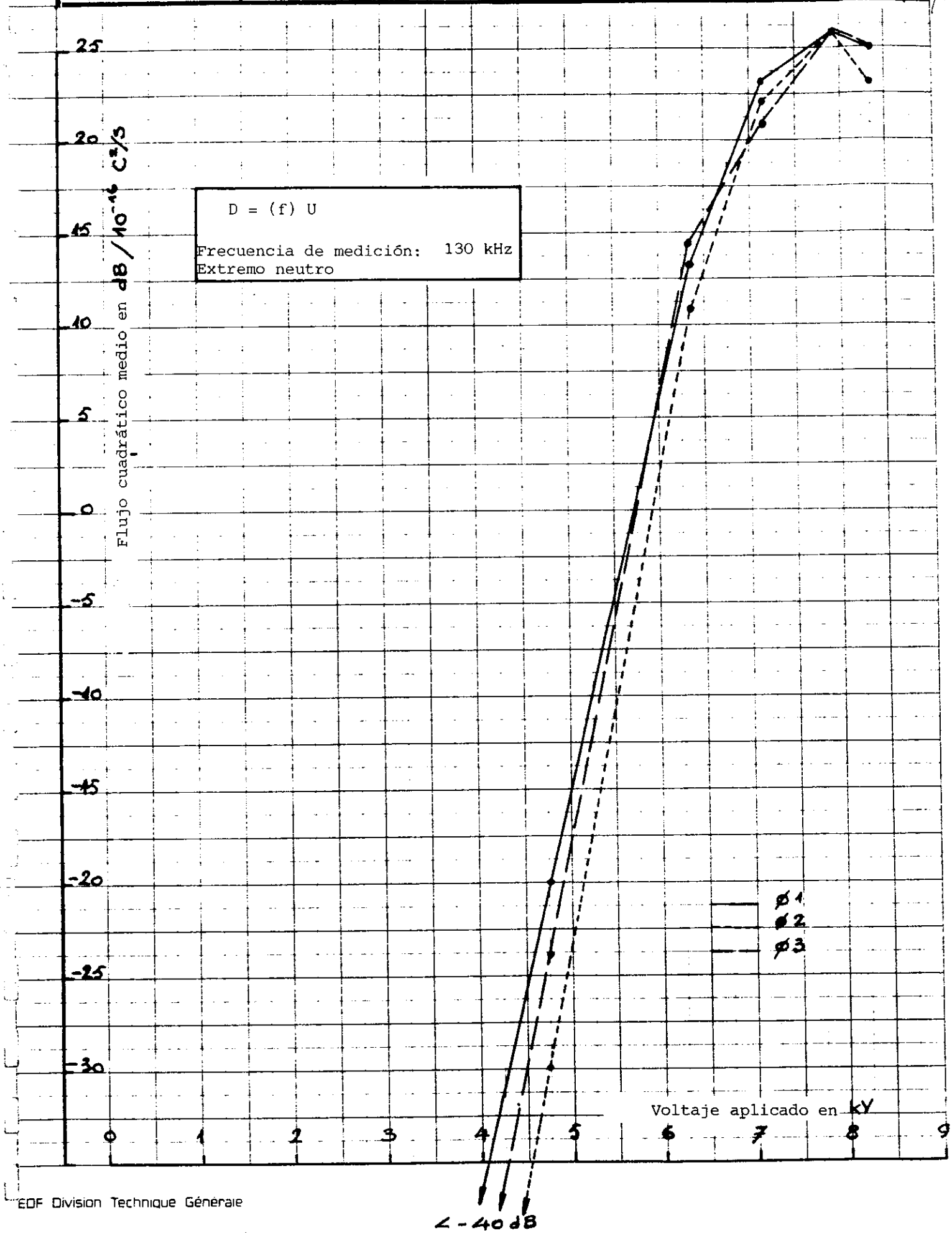
USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba Nº 7699-51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



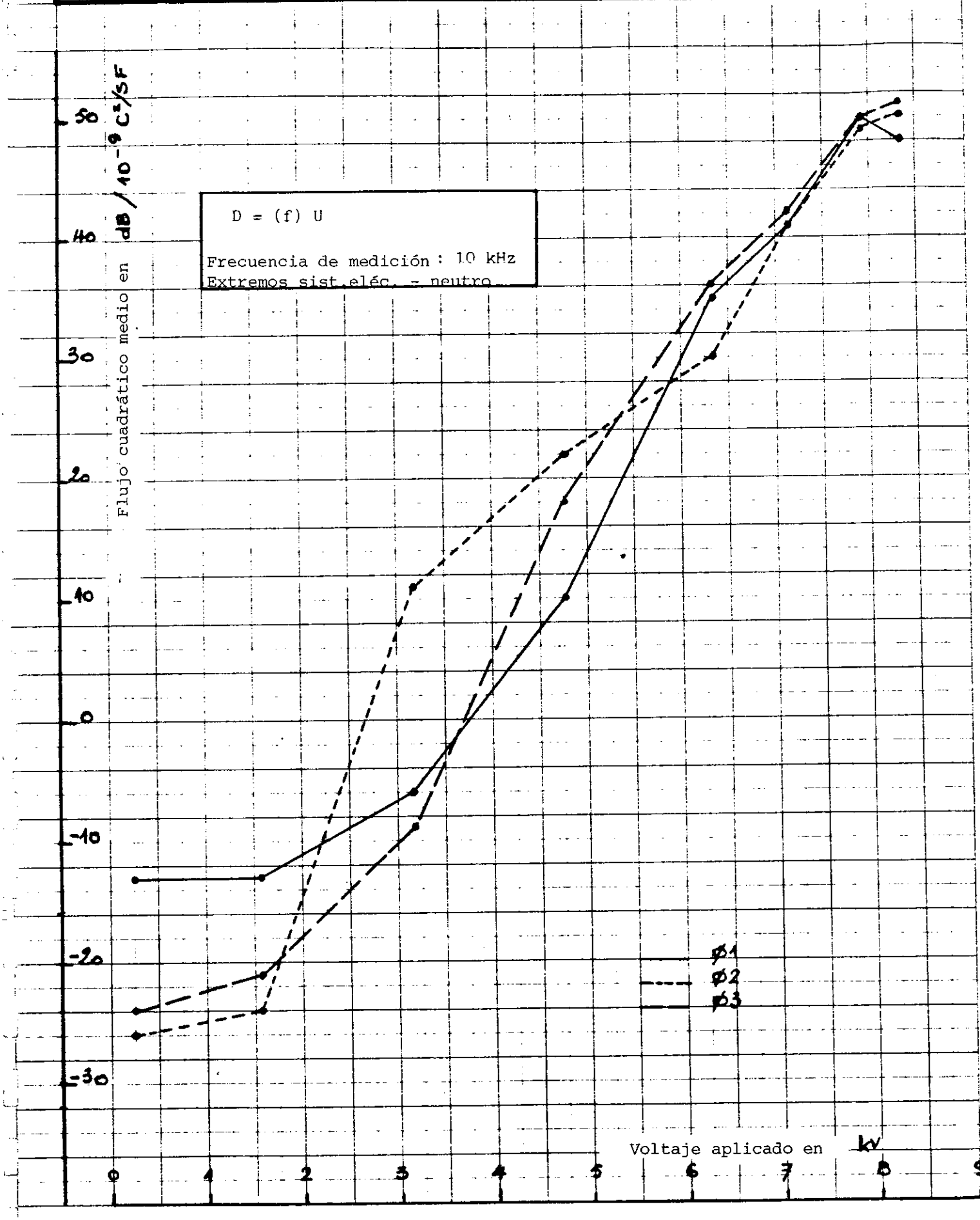
USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización		Prueba nº 7699-51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



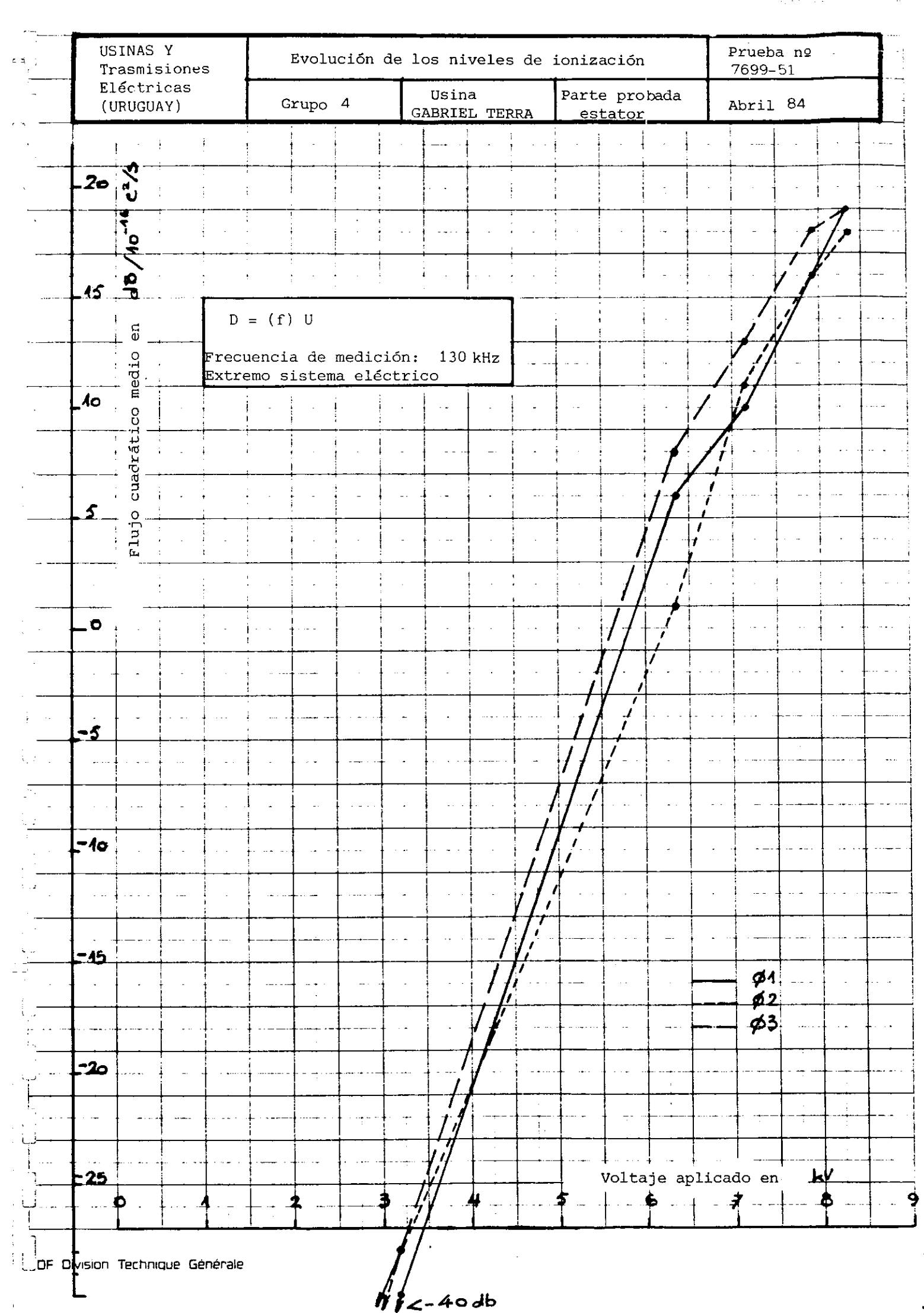
USINAS Y Trasmisiones ELéctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



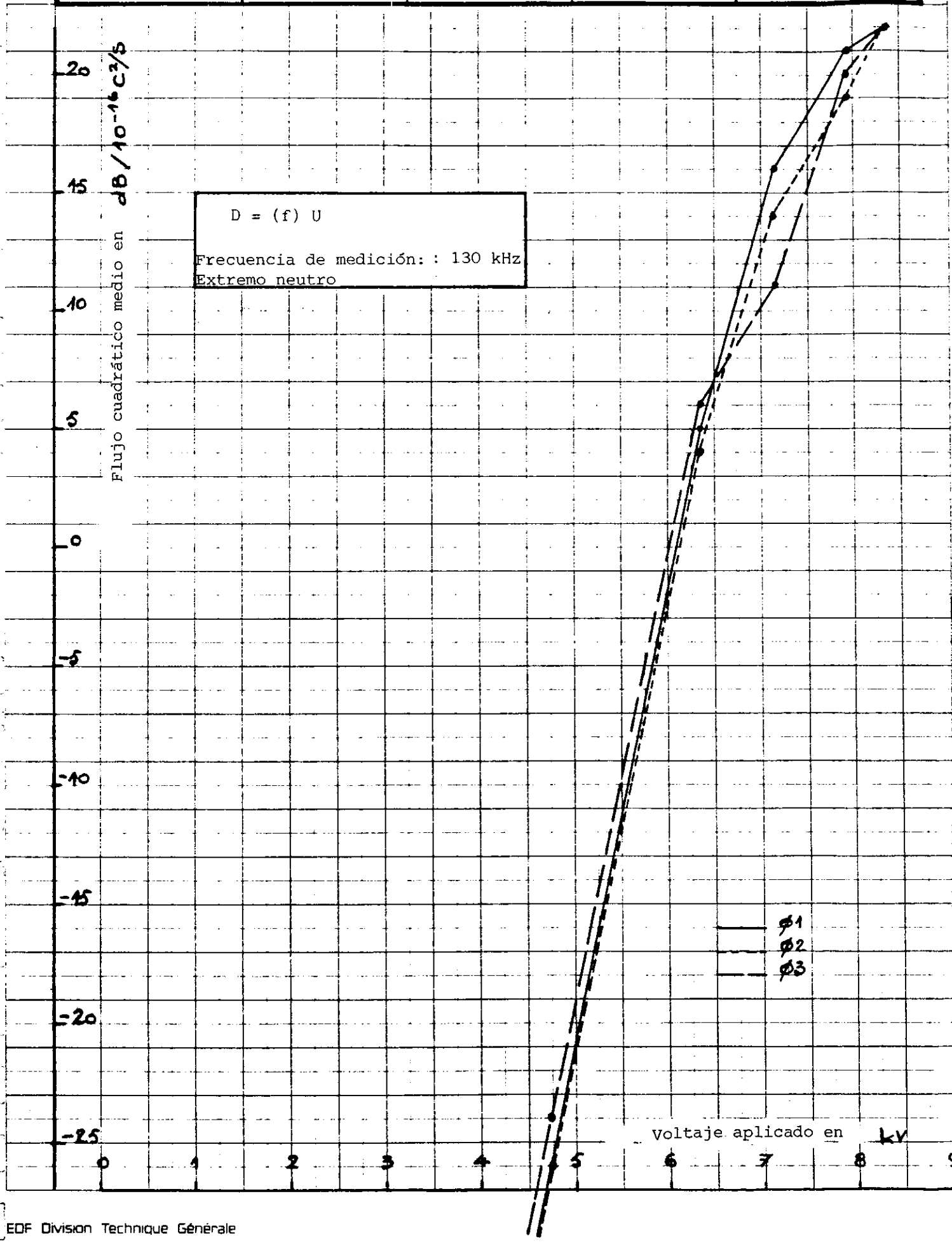
USINAS Y Trasmisionès Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	Evolución de los niveles de ionización			Prueba nº 7699-51
	Grupo 4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 84



Usinas y transmisiones Eléctricas (URUGUAY)	MEDICION DE LOS NIVELES DE IONIZACION			Prueba nº 7699.51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada estator	Abril 1984

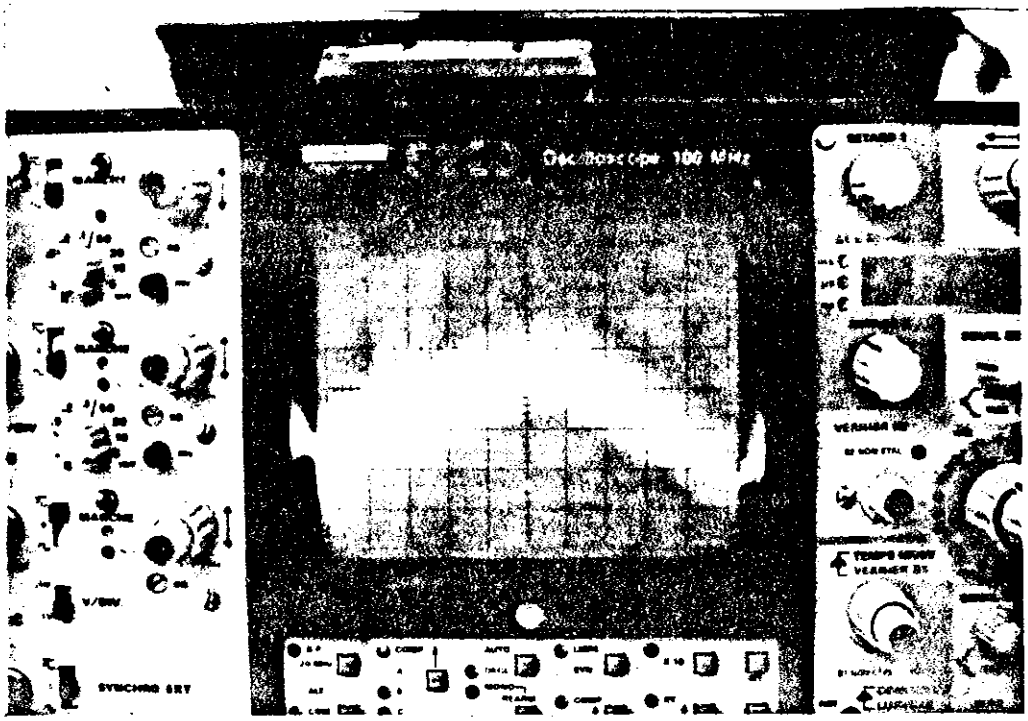


Foto nº 1

Fase nº 2

U = 7,79 kV

Medición sistema eléctrico - neutro

Frecuencia 10 kHz

D = 56 dB 10^{-9} C^2/SF

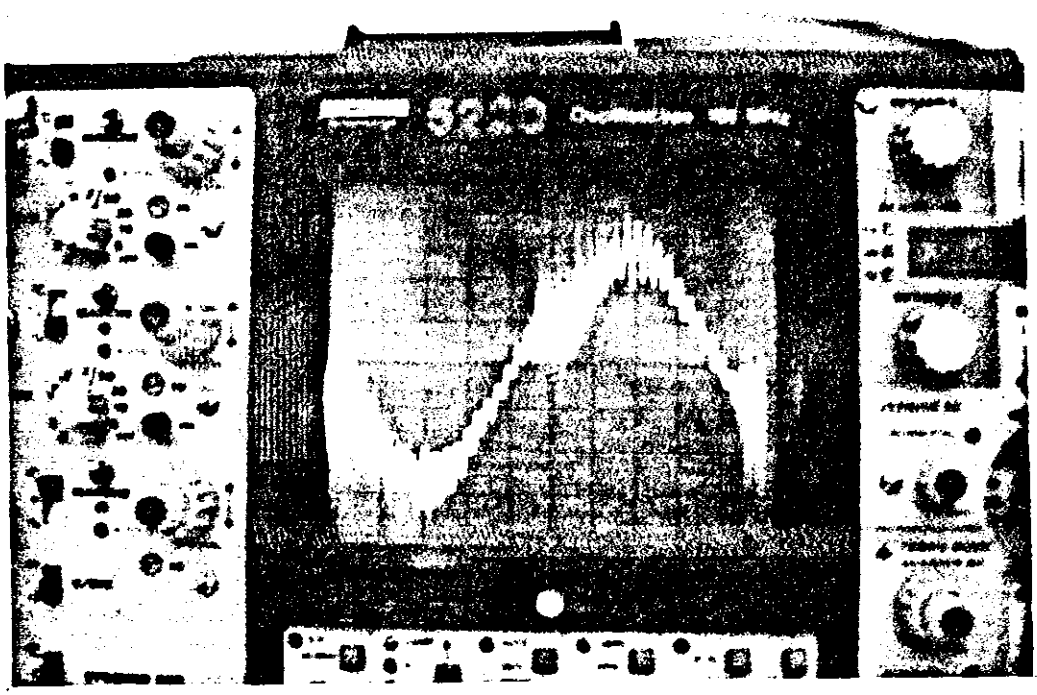


Foto nº 2

Fase nº 3

U = 7,97 kV

Medición sistema eléctrico - neutro

Frecuencia 10 kHz

D = 50 dB 10^{-9} C^2/SF

USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)

MEDICION TEMPERATURA GENERADOR

Grupo 2 | Usina GABRIEL TERRA | Parte probada rotor-estator

Prueba nº 7699-51 | Abril 84

HORAS (H)	POTENCIA Activa (MW)	POTENCIA Reactiva (MVar)	ESTATOR I (A)	ESTATOR U (V)	EXCITACION I (A)	EXCITACION U (V)	TEMPERATURA ROTOR I (A)	TEMPERATURA ROTOR U (V)	TEMPERATURA ROTOR t° (°C)	Temp. estator (°C)	Temp. refrigerante (°C)	Temp. agua (°C)
11h30	30,4	10	1276	14.100	590	180	654	185	51,2	55	30°	19,5
11h45	30,4	10	1290	14.052	590	185	644	186	58,1	59		19,5
12h00	30,4	10	1296	14.124	600	195	663	195	63,5	62		19,5
12h15	30,4	10	1300	14.184	610	200	671	202	69,4	64		19,5
12h30	30,4	10	1290	14.256	610	220	674	202	68,2	66	33°	19,5
13h00	30,4	10	1290	14.220	610	220	669	202	70,3	66	33,8	19,5
14h00	30,4	10	1290	14.244	620	209	677	205	71	68		19,5
15h00	30,4	10	1293	14.196	610	208	673	205	72,9	68	34,8	19,8
16h00	30,4	10	1296	14.160	610	207	668	203	72,2	68	34,8	19,8
17h00	30,4	10	1296	14.148	610	207	668	203	72,1	68		19,8
18h00	30,4	10	1296	14.136	610	205	667	202	72,1	69		19,8

EDF Division Technique Générale

USINAS Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)

MEDICION TEMPERATURA GENERADOR

Grupo 2 | Usina GABRIEL TERRA | Parte probada rotor-estator

Prueba nº 7699-51 | Abril 84

HORAS (H)	POTENCIA		ESTATOR		EXCITACION		TEMPERATURA ROTOR			Temp. estator	Temp. refrige-rante	Temp. agua
	Activa (MW)	Reactiva (MVar)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	t° (°C)	(°C)	(°C)	(°C)
18h45	35	13,5	1500	14.208	670	232	740	227	76,4	72		19,8
19h00	35	13	1513	14.136	670	232	734	229	80,5	74		19,8
19h15	35	13	1506	14.088	670	232	733	228	80,7	75	34,2	19,8
19h30	35	13	1503	14.136	670	232	733	228	80,7	76		19,8
20h00	35	13	1500	14.136	680	232	729	228	81,6	77		19,8
20h30	35	13	1500	14.160	680	235	738	234	86,8	77	34,7	19,8
21h30	35	13	1500	14.196	670	235	735	234	88	77	35	19,8
22h30	35	13	1490	14.328	670	238	750	239	88,1	77	35	19,8
23h30	35	13	1476	14.412	680	242	738	236	88,5	78	35	19,8

EDF Division Technique Générale

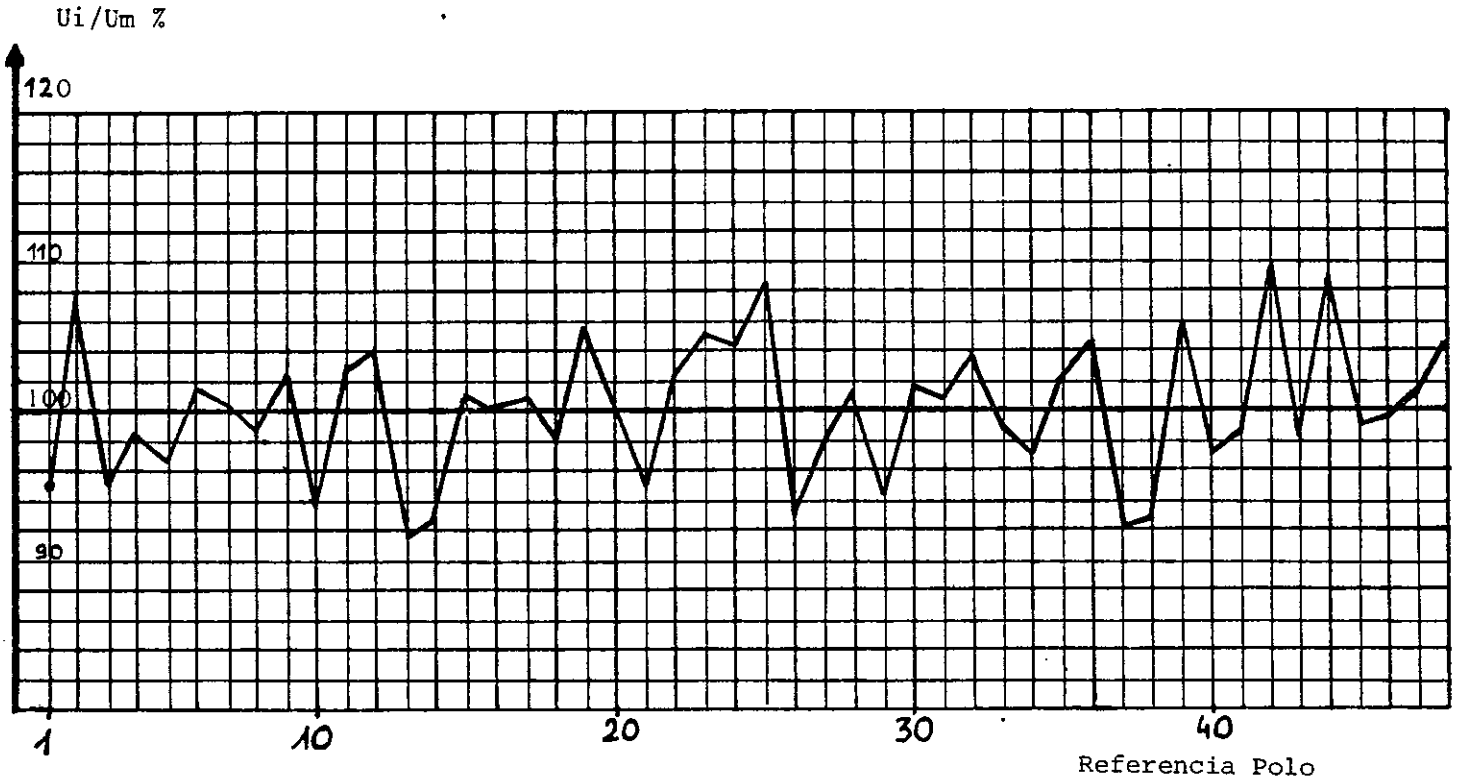
Usinas Y Trasmisiones Eléctricas (URUGUAY)	REPARTICION VOLTAJE EN CORRIENTE ALTERNADA		Prueba nº 7699-51
	Grupo 2	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada rotor	Abril 1984

Voltaje medio $Um = \Sigma \frac{Ui}{n} = 2,638$

$\sigma = \sqrt{\Sigma \frac{(Ui - Um)^2}{n}} = 0,118$

Diferencia tipo: $100 \frac{\sigma}{Um} = 4,47\ \%$

N° Polo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ui V	2,49	2,86	2,51	2,6	2,57	2,69	2,65	2,62	2,71	2,48	2,72	2,75	2,42	2,44	2,67	2,64
Ui/Um %	94,9	108,2	95,2	98,3	97,2	101,8	100,2	99,1	102,5	93,8	102,9	104	91,5	92,3	101	99,9
N° Polo	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Ui V	2,67	2,59	2,78	2,64	2,51	2,71	2,78	2,76	2,86	2,45	2,59	2,67	2,49	2,69	2,67	2,74
Ui/Um %	101	98	105,2	99,9	95	102,5	105,2	104,4	108,2	92,7	98	101	94,2	101,8	101	103,6
N° Polo	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Ui V	2,61	2,57	2,7	2,76	2,43	2,45	2,8	2,57	2,6	2,73	2,59	2,9	2,62	2,63	2,67	2,76
Ui/um %	98,7	97,2	102,1	104,4	92	92,7	105,9	97,2	98,3	103,7	98	109,7	99,1	99,5	101	104,4



RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 5 b

DOCUMENTO C I G R E (25-8 / 2-9-1976)

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Télex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

Fabricant :

MARCHE N°

Adresse :

FICHE TECHNIQUE N°

Téléphone :

Famille :

Classification AFNOR :

Télex :

SYSTEMES (S) CONCERNE (S) :

ESSAIS DE QUALITE EFFECTUES

SUBJECTILES ET LIEUX D'EMPLOI	MISE EN ETAT DE SURFACE			
Produits utilisés	Enduits	Couche primaire ou d'impression	Couche intermédiaire ou de renforcement	Couche de finition
Appellation commerciale 1. CARACTERISTIQUES Masse volumique à 20°C (kg/l) Extrait sec . % en poids du produit . % en volume du produit Pigments . nature . % en poids du produit . % en volume du produit Matières de charge . nature . % en poids du produit . % en volume du produit Liant . nature . % en poids du produit . % en volume du produit Solvant . nature . % en poids du produit . % en volume du produit Epaisseur du feuil sec µm . tolérances µm				

NOTA : Sauf cas spécifique, la fiche est établie pour la couleur conventionnelle dénommée gris bleu moyen n° 2, référence 1625 de la norme AFNOR X08002.

supplémentaire (adaptation de la machine à la conduite et démontage souvent nécessaire des vannes de tête et de pied conduite pour l'introduction et la récupération de la machine dans la conduite).

TRAITEMENT DES SURFACES.

Après la préparation des surfaces, soit par métallisation ou autre procédé, soit par l'application d'une couche primaire appropriée à la nature de la surface métallique.

- Par métallisation :

Ce sera généralement une métallisation au Zinc ou au Zinc-Aluminium (85% Zn, 15% Alu) effectuée au pistolet métalliseur suivant les instructions de la norme NF A 91 201.

Après métallisation, il est nécessairement procédé à un colmatage des pores. Ce colmatage s'effectuera généralement avec une primaire inhibiteur de corrosion à appliquer à une température ≥ à 10°C.

- Par application d'une couche primaire : supérieur ou équivalente à 10°C.

De nature déterminée suivant la surface métallique à protéger, l'exposition de celle-ci et le type de revêtement choisi.

EXECUTION DE LA PROTECTION.

Après la couche primaire, procéder à l'application du revêtement. L'hygrométrie ne doit pas être supérieure à 80%. Vérifier la température ambiante mini d'application pour chaque type de peinture avant sa mise en oeuvre.

La doctrine actuelle du S.P.H. en ce qui concerne les produits est la suivante :

Intérieur conduites forcées : brai de houille époxy avec ou sans solvant .(1)

Extérieur conduites forcées :
- Atmosphère rurale : bitume de pétrole - si couleur demandée, peinture glycérophtalique.
- Atmosphère industrielle, agressive : brai de houille époxy- si couleur demandée peinture caoutchouc chloré.

---

(1) Le S.P.H. préconise, chaque fois que cela est possible, l'emploi de peinture sans solvant. Il faut veiller à utiliser des produits ayant une durée de maniabilité suffisante car ce type de peinture est délicat à appliquer. Il faut, dans la plupart des cas, utiliser une machine à deux composants. Celle-ci est en général volumineuse et il faudrait, pour la peinture intérieure des conduites forcées, l'introduire à l'intérieur de la conduite, de façon à avoir les longueurs de tuyaux les plus faibles afin d'éliminer les pertes de charge au pistolet mélangeur. Si la machine reste à l'extérieur, son emploi se trouve limité pour certains ouvrages.

- Matériel immergé eau douce :

  - non polluée : métallisation + brai de houille,
  - polluée : métallisation + brai de houille époxy.

- Matériel immergé eau de mer :

  Même revêtement avec épaisseur renforcée.

- Matériel semi-immergé : métallisation + brai de houille époxy.

- Matériel hors d'eau :

  - atmosphère rurale : bitume de pétrole - si nécessité couleur : peinture glycérophtalique.

  - atmosphère industrielle, agressive : brai de houille époxy - si nécessité couleur : peinture caoutchouc chloré.

CONTROLE DE PROTECTION

- L'applicateur remettra, avec sa réponse à l'appel d'offre, une fiche technique du système de revêtement préconisé (Annexe 1).

- Il devra, en outre, remplir pendant et en fin de travaux la fiche d'exécution (Annexe 2).

GARANTIE

Un revêtement est réputé satisfaisant si, au terme du délai de garantie lié aux critères, il reste conforme aux conditions imposées par chacun de ces critères.

En l'absence d'indication précisée au contrat, la durée de garantie donnée par le constructeur sur la tenue des peintures, par référence au degré Ri 2 de la norme NF T 30071, est de : - 8 ans (6 + 2). Ce qui signifie que le constructeur prend intégralement à sa charge les travaux de réfection, pendant 6 ans et que la participation d'E.D.F. les deux années suivantes est de :

- 25 % pendant la première année suivante,
- 50 % pendant la deuxième année suivante.

PRODUITS GRENAILLES PREPEINTS FABRIQUES DE FACON AUTOMATIQUE.

Pour les matériels neufs utilisant des produits laminés on recommande chaque fois que cela est possible l'emploi de grenaillés prépeints fabriqués de façon automatique (NF A 35-511 et son fascicule de recommandation NF A 35-512).

S'il n'y a pas de déformation entre l'application de cette protection et celle du revêtement, il n'y a pas lieu de faire disparaître la protection ; mais si, au contraire, des déformations entraînant des écaillages, décollements ... de cette couche, se produisent, il est nécessaire de procéder à un décapage total avant l'application du système de peinture.

A noter que la couche appliquée en atelier ne fait pas partie du système. En aucun cas, la durée de stockage sur site ne doit excéder 6 mois avant l'application du revêtement.

GARANTIA

Se considera que un revestimiento es satisfactorio en caso que, al cabo del plazo de garantía relacionado con los criterios de aplicación, se encuentre en conformidad con las condiciones impuestas por cada uno de dichos criterios.

En caso de que no existan indicaciones precisas en el contrato, la duración de garantía dada por el constructor acerca del comportamiento y duración de las pinturas, por referencia al grado Ri 2 de la norma NF T 30071 es de: ocho años (6 - 2). Esto significa que el constructor se hace íntegramente cargo de los posibles trabajos de refacción durante 6 años y que la participación de Electricité de France durante los dos años siguientes es de:

- 25% durante el primer año siguiente
- 50% durante el segundo año siguiente

PRODUCTOS GRANALLADOS REPINTADOS FABRICADOS DE FORMA AUTOMATICA

Para los equipos nuevos en que se utilizan productos laminados se recomienda, en todos los casos en que así es posible, el empleo de granallados prepintados fabricados de forma automática (NF A 35-511 y su fascículo de recomendación NF A 35-512).

En caso de que no existan deformaciones entre el momento de la aplicación de esta protección y la aplicación del revestimiento, no será preciso eliminar la protección. Pero en cambio, si ocurre que las deformaciones acarrean formación de escamas, desprendimientos, etc., de dicha capa, será preciso proceder a un decapado total antes de la aplicación del sistema de pintura.

Cabe tener en cuenta que la capa aplicada en taller no forma parte del sistema. La duración de almacenamiento en el sitio no debe ser superior en ningún caso a seis meses, antes de la aplicación del revestimiento

– SYSTEMES PRECONISES PAR LE S.P.H.

		Travaux neufs	Réfection totale ou partielle	
			Acier corrodé	Acier non corrodé
CONDUITES	*CONDUITES FORCEES*			
	Extérieur			
	– A l'air libre, atmosphère non agressive, rurale ou urbaine et en galerie sèche	TN1 - TN2	RTC 1	RTNC 1
	– A l'air libre, atmosphère industrielle, agressive	TN11 - TN3		
	– En galerie libre, milieu très humide	TN4 - TN5 - TN15		
	– Conduites enterrées	TN13 - TN16		
	– Conduites bétonnées	Pas de revêtement		
	Intérieur	TN7 - TN8		
PARTIES HORS D'EAU	*PORTIQUES, CHARPENTES METALLIQUES, PONTS ROULANTS, DEGRILLEURS, TRANSFORMATEURS*			
	– A l'air libre, atmosphère rurale	TN1 - TN2	RTC 1	RTNC 1
	– A l'air libre, atmosphère urbaine industrielle, maritime, agressive	TN3 - TN11		
	– Sous abri en absence d'humidité	TN1 - TN2		
	EXTERIEURS VANNES, TURBINES, ALTERNATEURS			
	– A l'air libre, atmosphère non agressive rurale ou urbaine, et en galerie sèche	TN1 - TN2	RTC 1	RTNC 1
	– A l'air libre, atmosphère agressive, maritime	TN11 - TN3		
	– Sous abri	TN1 - TN2		
ZONES DE MARNAGE	*GRILLES DE PRISES D'EAU, PORTES D'ECLUSES, VANNES ET CLAPETS DE SURFACE, VANNES SEGMENTS, BATARDEAUX...*			
	– Immergés ou semi-immergés en eau douce		RTC 1	RTNC 1
	. Polluée	TN12		
	. Non polluée	TN10		
	– Immergés ou semi-immergés en eau de mer	TN7 - TN12		
MATERIEL IMMERGE	*VANNES DE FOND OU DE VIDANGE, VANNES DE PRISE, INTERIEUR : VANNES DE PIED, DE TETE*			
	– Immergées eau douce		RTC 1	RTNC 1
	. Polluée	TN12		
	. Non polluée	TN12		
	– Immergées eau de mer	TN12 - TN14		
	INTERIEUR TURBINES, BACHES	TN7 - TN8 - TN17 - TN18 TN20		
	EXTERIEUR BULBES	TN19		

SYSTEMES DE REVETEMENTS PRECONISES PAR LE S.P.H.

N° Sys.	*Préparation de surface*	*Couche primaire*	*Revêtement*	*Application*	*Observations*
TN1	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche de minium (ép. ≥ 40 µm)	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, bitume de pétrole (ép. totale ≥ 300 µm)	au pistolet airless recommandé	
TN2	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche de minium ou chromate de zinc (ép. ≥ 40 µm)	2 couches de peinture glycérophtalique (ép. totale ≥ 120 µm)	au pistolet airless recommandé	si couleur demandée
TN3	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire de peinture riche en zinc (92 % de Zn mini) ou similaire (ép. ≥ 40 µm)	3 couches de peinture caoutchouc chloré (ép. totale ≥ 180 µm)	au pistolet airless recommandé	si couleur demandée
TN4	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5		3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille (ép. totale ≥ 450 µm)	au pistolet airless recommandé	
TN5	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire de peinture riche en zinc (92 % de Zn mini) ou similaire (ép. ≥ 40 µm)	3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille (ép. totale ≥ 450 µm)	au pistolet airless recommandé	
TN6	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	Métallisation Zinc ou Zinc-Alu 85/15 (ép. ≥ 120 µm) Bouche-porage	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille (ep. totale ≥ 300 µm)	au pistolet airless recommandé	
TN7	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire de peinture riche en Zinc (92 % de Zn mini) ou similaire (ép. ≥ 40 µm)	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille - époxy solvanté (ép. totale ≥ 400 µm)	au pistolet airless recommandé	brai - époxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume
TN8	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire de peinture riche en zinc (92 % de Zn mini) ou similaire (ép. ≥ 40 µ m)	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille - époxy sans solvant (ép. totale ≥ 400 µ m)	au pistolet airless recommandé	brai - époxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume
TN9	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	Métallisation Zinc ou Zinc-Alu 85/15 (ép. ≥ 120 µ m) Bouche-porage	3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille (ép. totale ≥ 450 µ m)	au pistolet airless recommandé	
TN10	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	Métallisation Zinc ou Zinc-Alu 85/15 (ép. ≥ 120 µm) Bouche-porage	3 ou 4 couches de peinture bitumineuse, brai de houille (ép. totale ≥ 600 µ m)	au pistolet airless recommandé	
TN11	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire de peinture riche en zinc (92 % de Zinc mini) ou similaire (ép. ≥ 40 µ m)	2 couches de peinture bitumineuse, brai de houille - époxy solvanté (ép. totale ≥ 250 µm)	au pistolet airless recommandé	brai - epoxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume
TN12	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	Métallisation Zinc ou Zinc-Alu 85/15 (ép. ≥ 120 µm) Bouche-porage	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille - époxy solvanté (ép. totale ≥ 400 µ m)	au pistolet airless recommandé	brai - epoxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume
TN13	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5	1 couche primaire à base de résines époxy (ép. ≥ 45 µ m)	2 ou 3 couches de peinture bitumineuse, brai de houille - époxy solvanté (ép. totale ≥ 400 µm)	au pistolet airless recommandé	brai - époxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume

N° Sys.	Préparation de surface	Couche primaire	Revêtement	Application	Observations
TN14	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	Métallisation Zinc ou Zinc-Alu 85/15 (ép. ⩾ 120 µm) Bouche-porage	2 ou 3 couches de peinture bitumimeuse, brai de houille · époxy sans solvant (ép. totale ⩾ 400 µm)	au pistolet airless recommandé	brai · époxy : teneur en résines époxydiques dans le liant à 40 % en volume
TN15	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5 si possible, sinon décapage mécanique		1 couche de graisse passivante (2 kg/m^2) + enrobage toile verre	au gant	
TN16	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5		1 couche de peinture bitumineuse, brai de houille (1 kg/m^2) Enrobage tissu de verre 1 couche de peinture bitumineuse, brai de houille (1 kg/m^2)	au gant	
TN17	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5 si possible sinon décapage mécanique	1 couche primaire à base de résines époxy (ép. ⩾ 45 µm)	2 ou 3 couches de peinture époxy pure sans solvant (ép. ⩾ 400 µm)	au pistolet airless recommandé	
TN18	Décapage par projection d'abrasifs Ds 2,5, si possible sinon décapage mécanique	2 couches de peinture à base de néoprène (ép. totale ⩾ 120 µm)	2 ou 3 couches de peinture à base d'Hypalon (ép. totale ⩾ 180 µm)	à la brosse ou rouleau	
TN19	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3 si possible sinon décapage mécanique	Métallisation Zinc (ép. totale ⩾ 120 µm)	**Partie "alternateur"** – 2 couches de peinture epoxy-zinc (ép. totale ⩾ 80 µm) **Partie "turbine"** – 2 couches de peinture bitumineuse, brai de houille epoxy (ép. totale ⩾ 250 µm)		
TN20	Décapage par projection d'abrasifs Ds 3	1 couche de peinture monocomposante spéciale à base d'une combinaison de résine synthétique et de caoutchouc chloré à consistance normale (ép. ⩾ 30 µm)	3 couches de peinture monocomposante spéciale à base d'une combinaison de résine synthétique et de caoutchouc chloré à consistance thixotrope (ép. totale ⩾ 180 µm)	1ère couche : pinceau ou rouleau, les 3 autres au pistolet airless	
RTNC 1	Décapage par projection d'abrasifs douce et limitée dans le temps, si possible sinon, brossage nettoyage	Selon l'épaisseur et la nature de la couche de revêtement affecté, puis système de peinture identique à travaux neufs.			
RTC 1	Décapage par projection d'abrasifs si possible · sinon décapage mécanique	Essayer de reformer le revêtement d'origine. S'il y avait métallisation et que l'on soit dans l'impossibilité de la refaire, remplacer celle-ci par une couche de peinture riche en zinc (92 % de Zinc mini) (ép. ⩾ 40 µm) et appliquer ensuite la peinture prévue pour travaux neufs.			

Produits utilisés	Enduits	Couche primaire ou d'impression	Couche intermédiaire ou de renforcement	Couche de finition
Consommation spécifique conventionnelle (l/m2)				
Température limite de service				
Point d'éclair °C				
Toxicité (couleur étiquetage)				
Couleurs garantissant la tenue				
Aspect du feuil				
Conditionnement				
Durée de conservation en emballage d'origine jamais ouvert (t>0°C)				
Durée pratique d'utilisation après mélange à 20°C				
2. MISE EN ŒUVRE				
Support				
. taux d'humidité . pH limites . températures limites °C . rugosités en µm mini/maxi				
Atmosphère				
. températures limites °C . hygrométrie maximale entre ces limites				
Composition du mélange				
. base : nature : % en poids : % en volume				
. durcisseur : nature : % en poids : % en volume				
. durée de mûrissement				
Modes d'application préconisés				
Diluants autorisés				
. toxicité (couleur étiquetage)				
Dilution autorisée pour :				
. brosse ou rouleau . pistolet AIRLESS . pistolet conventionnel				
Temps de séchage				
. hors poussière . recouvrable (mini/maxi) . définitif				

3. NETTOYAGE
Produits à éviter :

4. METHODE DE REPARATION

AMENAGEMENT DE :	FICHE D'EXECUTION SUBJECTILE METALLIQUE	FICHE N°
ENTREPRISE :		MARCHE N°

SUPPORT :
TRANCHE :
BATIMENT :
NIVEAU :

MATERIEL :

SYSTEME DE REVETEMENT :
FICHE TECHNIQUE N°

A PREPARATION DE SURFACE

Atelier ☐ Chantier ☐

Brûlage		Dépoussiérage	
Ponçage		Décap. chimiq.	
Grattage		Rinçage	
Dégraissage		Détrempe	
Décap. Abras.		Séchage	

Etat final de la surface : R : DS :

Chef d'équipe	Autorisation de peindre
Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

B COUCHE PRIMAIRE

Atelier ☐ Chantier ☐

Peinture
N° de fabrication
Mode d'application
Hygrométrie
Température
Epaisseur feuil sec

Chef d'Equipe	Autoris. de poursuivre
Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

C COUCHE DE RENFORCEMENT

Atelier ☐ Chantier ☐

Peinture
N° de fabrication
Mode d'application
Hygrométrie
Température
Epaisseur feuil sec

Chef d'Equipe	Autoris. de poursuivre
Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

D RETOUCHES ET PREPARATION AVANT COUCHE(S) FINITIONS

Chef d'Equipe	Autorisation de peindre
Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

E COUCHE (S) DE FINITIONS

Atelier ☐ Chantier ☐

Peinture
N° de fabrication
Mode d'application
Hygrométrie
Température
Epaisseur feuil sec final
Adhérence

Chef d'Equipe	L'Entrepreneur
Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa :

Réception de la fiche par E.D.F.	Phase	A	B	C	D	E
	Date Visa					

F PREPARATION CORDONS DE SOUDURE DE MONTAGE

Préparation

	Chef d'Equipe	Autorisation de peindre
	Nom Date Visa	

G COUCHE PRIMAIRE SUR CORDONS

Peinture
N° de fabrication
Mode d'application
Hydrométrie
Température

	Chef d'Equipe	Autorisation de poursuivre
	Nom Date Visa	

H COUCHE DE RENFORCEMENT SUR CORDONS

Peinture
N° de fabrication
Mode d'application
Hydrométrie
Température

	Chef d'Equipe	Autorisation de poursuivre
	Nom Date Visa	

	Phase	F	G	H
Réception de la fiche par E.D.F.	Date Visa			

OBSERVATIONS

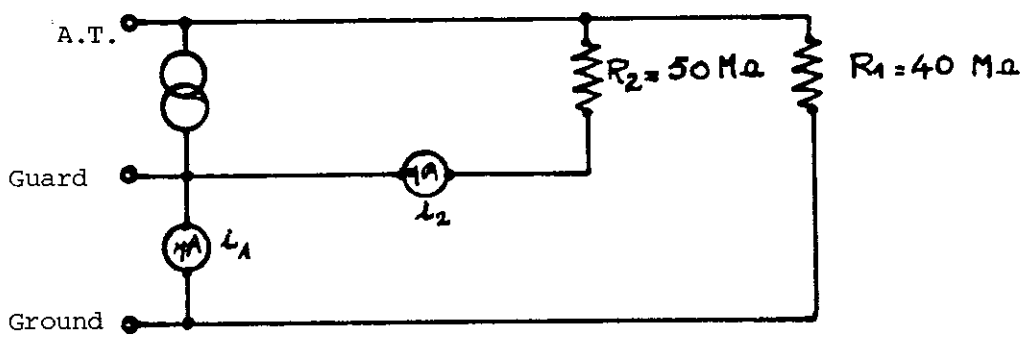
USINAS Y transmisiones Eléctricas (URUGUAY)	PRUEBA DE UN GENERADOR ALTA TENSION CONTINUA	Prueba nº 7699-51
	Usina GABRIEL TERRA	ABRIL 84

- CARACTERISTICAS

High Voltage D.C. insulation tester
Hill Research Co (Oakland - California)

Model H3 - 50 - 1P
2 ranges 0 - 10 kV) D.C. continuously variable
0 - 50 kV (
Out-put current : 0 - 5 000 micro-ampéres

MONTAJE REALIZADO



i_1 : microamperímetro integrado al generador de Alta Tensión

i_2 : microamperímetro exterior

RESULTADOS

Voltaje kV	i_1 10^{-6}A	i_2 10^{-6}A	$R_1 = \frac{U}{i_1}$ MΩ	$R_2 = \frac{U}{i_2}$ MΩ
1	25	20	40	50
2	50	39	40	50
5	120	100	41	50
10	250	200	40	50
15	380	300	39	50
20	500	410	40	49

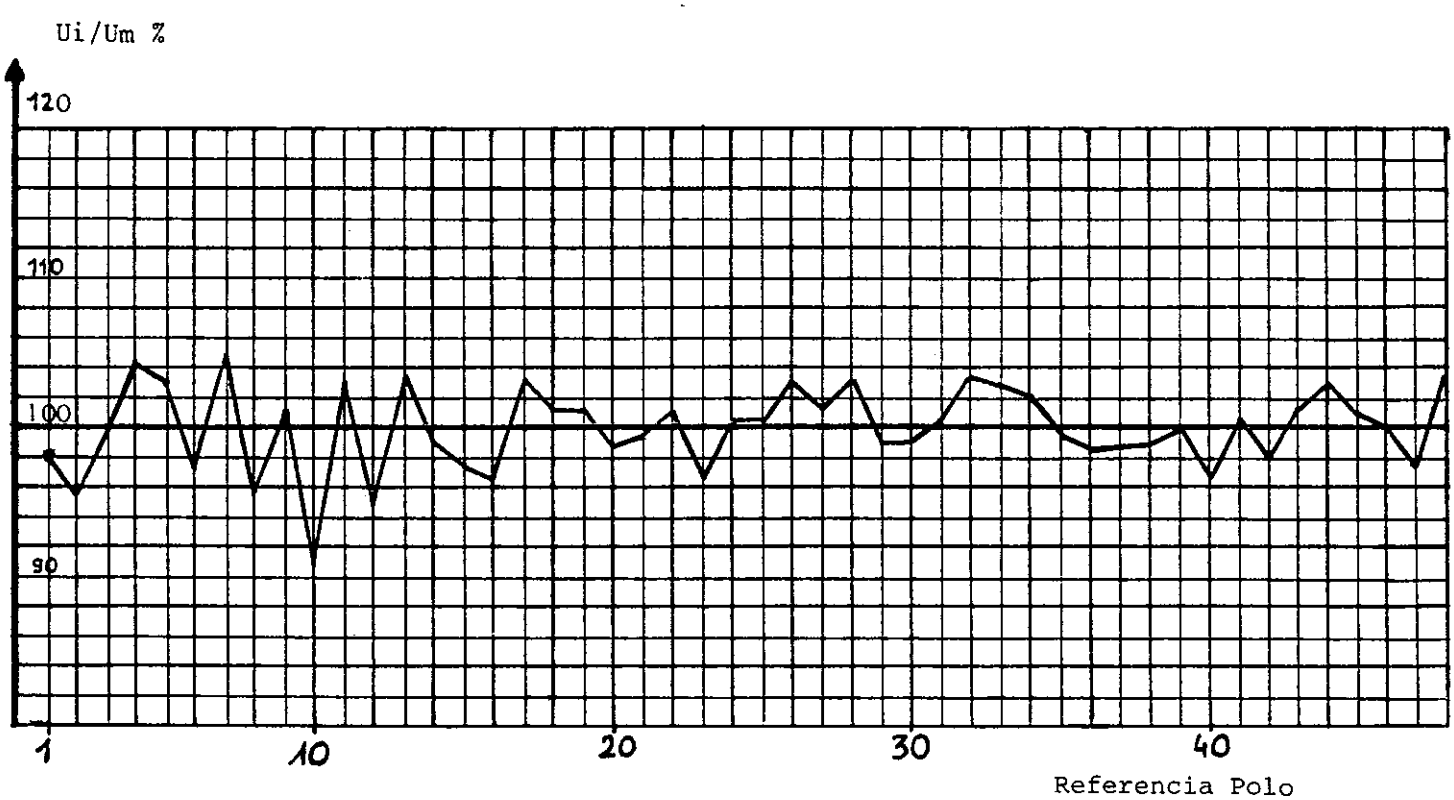
Usinas Y transmisiones Eléctricas (URUGUAY)	REPARTO VOLTAJE EN CORRIENTE ALTERNADA			Prueba nº 7699-51
	Grupo 3	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada rotor	Abril 1984

Voltaje medio $Um = \Sigma \frac{Ui}{n} = 2,643$

$\sigma = \sqrt{\Sigma \frac{(Ui - Um)^2}{n}} = 0,0731$

Diferencia tipo: $100 \frac{\sigma}{Um} = 2,76\ \%$

N° Polo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ui V	2,59	2,52	2,64	2,75	2,73	2,57	2,77	2,53	2,67	2,4	2,73	2,56	2,74	2,62	2,58	2,55
Ui/Um %	98	95,4	99,9	104,1	103,3	97,24	104,8	95,7	101	90,8	103,3	96,9	103,7	99,1	97,6	96,5
N° Polo	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Ui V	2,73	2,68	2,68	2,61	2,63	2,67	2,55	2,65	2,65	2,72	2,68	2,72	2,61	2,62	2,65	2,73
Ui/Um %	103,3	101,4	101,4	98,8	99,5	101	96,5	100,3	100,3	102,9	101,4	102,9	98,8	99,1	100,3	103,3
N° Polo	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Ui V	2,72	2,7	2,63	2,6	2,61	2,62	2,64	2,55	2,65	2,59	2,68	2,72	2,66	2,64	2,58	2,74
Ui/um %	102,9	102,2	99,5	98,4	98,8	99,1	99,9	96,5	100,3	98	101,4	102,9	100,7	99,9	97,6	103,7



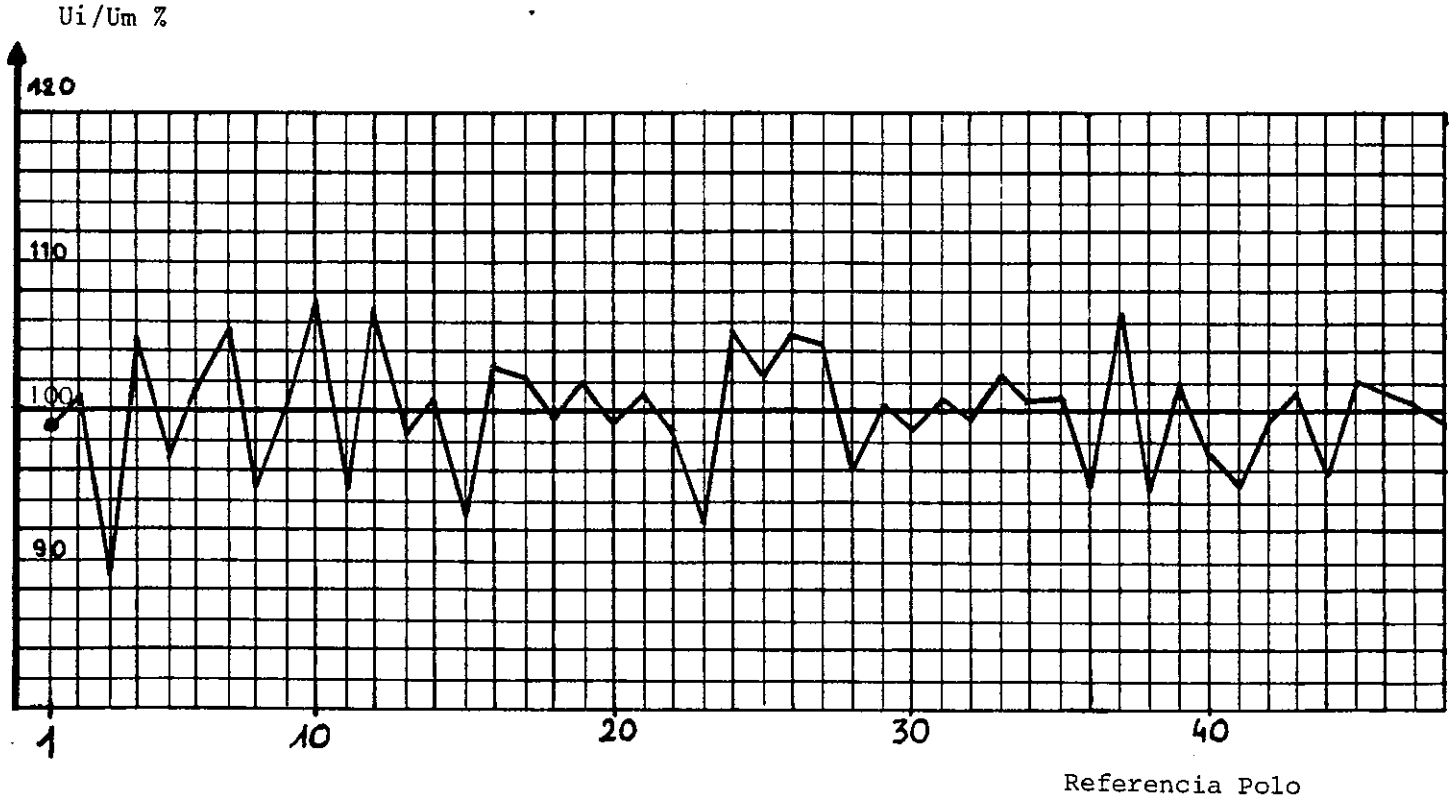
Usinas Y transmisiones Eléctricas (URUGUAY)	REPARTO VOLTAJE EN CORRIENTE ALTERNADA		Prueba nº 7699-51
	Grupo 4	Usina GABRIEL TERRA	Parte probada rotor	Abril 1984

Voltaje medio $Um = \Sigma \frac{Ui}{n} = 2,648$

$\sigma = \sqrt{\Sigma \frac{(Ui - Um)^2}{n}} = 0,105$

Diferencia tipo: $100 \frac{\sigma}{Um} = 3,96$ %

N° Polo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ui V	2,63	2,67	2,35	2,77	2,56	2,69	2,8	2,51	2,65	2,85	2,51	2,83	2,6	2,66	2,45	2,73
Ui/Um %	99,3	100,9	88,8	104,6	96,7	101,6	105,8	94,8	100,1	107,7	94,8	106,9	98,2	100,5	92,5	103,1
N° Polo	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Ui V	2,71	2,64	2,7	2,64	2,67	2,62	2,44	2,79	2,71	2,78	2,77	2,54	2,65	2,62	2,67	2,64
Ui/Um %	102,4	99,7	102	99,7	100,9	99	92,2	105,4	102,4	105	104,6	95,9	100,1	99	100,9	99,7
N° Polo	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Ui V	2,71	2,66	2,67	2,52	2,82	2,51	2,7	2,57	2,52	2,64	2,69	2,54	2,7	2,69	2,66	2,63
Ui/um %	102,4	100,5	100,9	95,2	106,5	94,8	102	97,1	95,2	99,7	101,6	95,9	102	101,6	100,5	99,3



ANNEXE 5

cigré

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension

112, boulevard Haussmann – 75008 Paris

Session de 1976 — 25 Août - 2 Septembre

12-06 O

ANALYSE DES GAZ DISSOUS DANS L'HUILE ET MAINTENANCE DES TRANSFORMATEURS

par

J. RABAUD, Mme M. THIBAULT, J. VERDON, F. VIALE,

(France)

RESUME

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse des gaz dissous dans l'huile d'un transformateur permet de détecter un défaut latent et d'en caractériser la nature.

Après un bref rappel des méthodes utilisées en France pour prélever l'huile et analyser les gaz dissous, les auteurs expliquent comment s'effectue l'interprétation des résultats et en quoi cette interprétation peut être considérée comme originale.

Ils étudient ensuite d'un point de vue statistique, un ensemble de résultats relatifs à 3 ensembles de transformateurs qui jusqu'à ce jour n'ont donné lieu à aucune alarme. L'un d'entre eux est constitué par des appareils munis de changeurs de prises en charge.

Ils examinent alors des cas particuliers de transformateurs dans lesquels l'analyse a confirmé la présence d'un défaut et dont l'autopsie a permis d'en préciser la nature et les causes. Dans le cas de gaz dégagés au relais buchholz, ils insistent sur l'intérêt que présente l'analyse de ces gaz et sa comparaison à celle des gaz dissous.

La dernière partie du rapport est consacrée à l'examen des avantages et des limitations d'une méthode de maintenance basée sur l'analyse des gaz dissous.

Isolation, Gaz dissous, Maintenance, Transformateur.

RAPPORT

1. INTRODUCTION

Parmi les produits formés par les différents processus de dégradation d'une isolation de transformateur dans l'huile, certains sont gazeux dans les conditions normales de température et de pression et se retrouvent alors dissous dans cette huile.

La chromatographie en phase gazeuse fournit un moyen pratique d'analyser les gaz dissous et d'en déterminer les concentrations avec une bonne précision, même si ces concentrations ont de très petites valeurs.

Les études effectuées ces dernières années ont permis d'établir des corrélations entre, d'une part la

nature de la contrainte responsable d'une dégradation (thermique ou électrique), la nature du phénomène physique par l'intermédiaire duquel cette dégradation se réalise, la nature des matériaux concernés et, d'autre part la nature et les proportions des différents gaz formés.

On peut alors, à partir de prélèvements d'huile convenablement échelonnés, évaluer l'état de l'isolation d'un transformateur et, le cas échéant, détecter la présence d'un défaut latent et en caractériser la nature.

Les différents Laboratoires qui ont procédé aux études en question ont été conduits à proposer des méthodes qui facilitent l'interprétation des analyses et aident à formuler un diagnostic correct de la nature et des causes d'une dégradation. Les principales méthodes connues conduisent en général à des diagnostics concordants lorsqu'il s'agit de défauts bien typés. Elles peuvent néanmoins dans certains cas entraîner des interprétations différentes, et cela particulièrement dans celui de dégradations lentes ou provoquées par des défauts de natures différentes agissant simultanément, surtout si elles sont utilisées sans le discernement d'un Laboratoire expérimenté.

Dans le deuxième paragraphe de ce rapport, on trouvera un exposé destiné à préciser les particularités des méthodes utilisées en France, tant pour prélever et analyser les gaz dissous dans l'huile que pour interpréter les résultats de ces analyses.

Si l'on désire utiliser les informations apportées par l'analyse des gaz dissous à la surveillance d'un parc de transformateurs, il est utile de savoir, pour chaque gaz caractéristique d'une dégradation, quelle est la valeur de la concentration au-dessous de laquelle le comportement d'un transformateur peut être considéré comme normal et au-dessus de laquelle il importe de prendre toutes les dispositions en accord avec le diagnostic.

Une telle valeur ne peut être obtenue que par l'étude statistique d'un échantillon suffisamment large et bien représentatif du parc en question. Dans le troisième paragraphe de ce rapport, on trouvera les résultats d'une telle étude portant sur 74 transformateurs d'usines hydrauliques d'Electricité de France, sans changeur de prises en charge et, à titre de comparaison, sur un nombre plus restreint d'appareils de son réseau de transport dont certains possèdent un changeur de prise en charge. Dans l'un et l'autre cas il s'agit d'appareils dont le comportement jusqu'à ce jour peut être considéré comme normal. (en particulier aucune alarme buchholz).

La quatrième partie du rapport présente différents transformateurs pour lesquels un examen a permis de comparer la nature et les causes d'un défaut avec l'interprétation d'une analyse et, dans le cas de dégagement de gaz au relais buchholz, attire l'attention sur l'intérêt des informations qui peuvent être tirées de leur analyse.

Enfin, dans le dernier paragraphe, les auteurs montrent comment, en France, les informations apportées par l'analyse des gaz sont utilisées pour décider des mesures à prendre en exploitation.

2. METHODES D'ANALYSE ET D'INTERPRETATION

2.1. Prélèvements – Les principales méthodes de prélèvement des échantillons liquides ou gazeux, en vue de la surveillance des transformateurs au moyen de l'analyse de leurs produits de dégradation, ont été regroupées dans un document CEI [1].

En France, on utilise surtout le prélèvement par seringue [2]. Toutefois lorsqu'il s'avère difficile d'adapter à une vanne du transformateur le tuyau de caoutchouc nécessaire à ce type de prélèvement, on utilise le corps de la seringue bouchée comme un flacon, en le tenant verticalement, tête en bas. Dès que la prise d'essai est faite, on engage le piston, on retourne la seringue, on enlève l'embout pour chasser l'air puis on rebouche. Un tel prélèvement est nécessairement entaché d'une erreur affectant surtout les gaz les moins solubles, comme l'hydrogène, le monoxyde de carbone, mais il est possible d'en tenir compte au moment de l'interprétation.

Si le point de prélèvement n'a pas habituellement une importance capitale, il n'en est pas de même en cas de défaut. Les différences entre les concentrations trouvées dans des prélèvements effectués en haut et bas de cuve sont significatives de la situation du défaut, de sa vitesse d'évolution et de sa cause initiale, lorsque les prélèvements sont effectués avant que les gaz dégagés au buchholz n'aient eu le temps de diffuser dans tout le volume d'huile.

2.2. Méthode d'extraction des gaz de l'huile – Plusieurs systèmes d'extraction des gaz sont possibles. Quelques-uns sont décrits dans un document CEI [1].

La méthode d'extraction par barbotage est la plus couramment utilisée en France [2]. Les limites de sensibilité atteintes sans difficultés particulières figurent dans le tableau I ; elles paraissent suffisantes pour une surveillance correcte d'appareils en service. La méthode présente en outre l'avantage de pouvoir doser les hydrocarbures en C_3, ce qui est très important compte tenu de la méthode d'interprétation utilisée.

Tableau I

Limites de sensibilité atteintes par la méthode d'extraction par barbotage.

Prise d'essai 1 ml			
Concentration (/μ Mole/l)			
Hydrogène	1,5	Méthane	: 0,05
Oxygène	10	Ethane	: 0,02
Azote	10	Ethylène	: 0,02
Monoxyde de carbone	10	Acéthylène	: 0,02
Dioxyde de carbone	10	Propane	: 0,02
		Propène	: 0,02
		Propyne	: 0,02
		Propadiène	: 0,02

2.3. Méthodes d'interprétation – Plusieurs méthodes d'interprétation des résultats d'analyse des gaz dissous ont été préconisées [3], et la CEI en a regroupé quelques-unes dans un document relatif à ce problème [4].

La méthode actuellement utilisée en France fait d'abord appel à des considérations qualitatives pour déterminer des groupes caractérisés par la présence ou l'absence de certains gaz, et ce n'est qu'ensuite qu'il est fait appel à des rapports de concentration pour préciser le diagnostic. En cela, elle se distingue des autres méthodes couramment utilisées (par exemple la méthode de "ROGERS" bien connue aujourd'hui) [3 , 5 , 6]. Cette méthode a été résumée en une table d'identification des défauts dans les isolations papier/huile (tableau II) qui s'utilise de la façon suivante :

2.3.1. Recherche du groupe auquel appartiennent les résultats de l'analyse des gaz dissous – Cette recherche se fait uniquement sur des considérations qualitatives indépendamment de la notion de concentration.

S'il y a de l'acétylène (quelle qu'en soit la concentration), les résultats font partie du groupe de l'acétylène.

S'il y a de l'éthylène (sans acétylène) et quelle qu'en soit la concentration, les résultats appartiennent au groupe de l'éthylène.

S'il y a du CO_2 (sans acéthylène ni éthylène) et quelle qu'en soit la concentration, les résultats appartiennent au groupe du dioxyde de carbone.

Enfin, s'il n'y a ni acéthylène, ni éthylène, ni CO_2, mais s'il y a de l'hydrogène, et quelle qu'en soit la concentration, les résultats appartiennent au groupe de l'hydrogène.

2.3.2. Recherche de la nature de la contrainte – Il s'agit simplement de rechercher à l'intérieur d'un groupe la nature de la contrainte ayant engendré le défaut : électrique ou thermique.

Là, interviennent des considérations de valeurs de rapports de concentration.

a) les résultats appartiennent au groupe de l'acéthylène.

– Le rapport C_2H_4/C_2H_2 est plus petit que 1 : le défaut est d'origine électrique.

– Le rapport C_2H_4/C_2H_2 est franchement plus grand que 1. Deux défauts sont superposés, défaut electrique et défaut thermique.

b) les résultats appartiennent au groupe de l'éthylène

– Les rapports C_2H_4/C_2H_6 et C_3H_6/C_3H_8 sont plus grands que 1, c'est-à-dire que l'hydrocarbure éthylénique a pris naissance de préférence à son homologue saturé : défaut thermique.

Tableau II

Table d'identification des défauts dans les isolations huile-papier

Données principales											Données complémentaires							Nature de la contrainte		Localisation		Exemples types	
H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_2H_4	C_3H_6	C_2H_2	C_3H_4	C_3H_4	CO_2	CO	Groupe	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_3H_6}{C_3H_8}$	$\frac{CH_4}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$*	$\frac{CO}{CO_2}$*	E	T	H	PI	Défauts types	Exemple de cas possibles, correspondant à l'analyse – non limitatif non impératif.
+	+	+		+		+					C_2H_2	> 1						+		+		Arcs	Amorçages brutaux. Durée très courte
+	+	+		+		+			+	+		> 1						+			+	Arcs	Coup de foudre Court circuit HT BT
+	+	+	+	+	+	+	+	+				> 1						+		+		Arcs-Arcs grêles Fortes DP.	Amorçages localisés répétés. Cuves. Bornes. CM. Régleur en charge.
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		> 1						+			+	Arcs. Arcs grêles Fortes DP.	Rupture canal d'huile – pièce potentiel flottant.
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		> 1	< 1	< 1		< 1	> 0,1	+			+	Faibles DP superposées à quelques fortes DP.	Mauvaise imprégnation, bulles d'air Humidité. DPs superposés aux arcs du régleur.
+	+	+	+	+	+	+	+	+				< 1						+	+	+		Défaut électrique avec fort effet thermique	Mauvaise connexion. Régleur + Pt chaud Tôles CM en court-circuit.
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		< 1						+	+		+		Mauvaise connexion. Spire en C.C.
+	+	+	+	+	+						C_2H_4		> 1	> 1	> 1							Point chaud < 500°C	Mauvaise connexion.
+	+	+	+	+	+								> 1	> 1	< 1				+	+		Point chaud > 500°C	Défaut de C.M.
+	+	+	+	+	+				+	+			> 1	> 1	> 1				+		+	130 < Point chaud < 500°C	Vieillissement thermique. Surchauffe conducteur
+	+	+	+	+	+								< 1	< 1		< 1				+		Faibles DP	Volume gazeux limité par huile.
+	+	+	+	+	+				+	+			< 1	< 1		< 1	> 0,1				+	Faibles DP	Volume gazeux limité par PI.
+	+								+	+	CO_2						< 0,1		+		+	Vieillissement thermique	Vie normale.
+	+	+	+						+	+							> 0,1	+			+	Faibles DP	Mauvaise imprégnation. Bulles. H_2O
+	+										H_2							+		+		Faibles DP	Pièce potentiel flottant. Gassing. Début défaut électrique.

(*) Condition suffisante mais pas nécessaire.

Légende : E électrique, T thermique, H huile, PI papier imprégné ou isolation solide.

Remarques : quand aucune indication ne figure dans les colonnes "données complémentaires", les rapports peuvent prendre n'importe quelle valeur.

– Les rapports C_2H_4/C_2H_6 et C_3H_6/C_3H_8 sont plus petits que 1, c'est-à-dire que l'hydrocarbure saturé a pris naissance de préférence à son homologue non saturé. Probabilité de défaut électrique.

Remarque : si ces rapports sont l'un plus petit et l'autre plus grand que 1, si les concentrations sont faibles (proches des limites de mesure), les résultats ne sont pas significatifs. Si, au contraire, les concentrations sont élevées. deux défauts, l'un thermique, l'autre électrique, peuvent être superposés.

c) Les résultats appartiennent au groupe du CO_2

– Le rapport CO/CO_2 est plus petit ou égal à 0,1 : vieillissement thermique.

– Le rapport CO/CO_2 est plus grand que 0,1 (beaucoup plus grand que 0,1) : défaut électrique.

d) Les résultats appartiennent au groupe de l'hydrogène.

Les résultats appartenant à ce groupe sont très rares, il s'agit en général de très faibles décharges partielles dans l'huile, ou de fortes décharges partielles dans un espace gazeux et venant s'amortir sur l'huile, ou du signe avant-coureur d'un défaut électrique plus grave.

2.3.3. Evaluation de la sévérité de la contrainte : recherche d'un défaut type – Il s'agit, à l'intérieur de chaque groupe de défauts, quand on en connait déjà la nature électrique ou thermique, d'essayer d'évaluer le niveau de contrainte.

A ce stade le schéma doit être considéré comme une trame non rigide permettant de distinguer entre des arcs de puissance, des arcs grêles, des décharges partielles plus ou moins fortes, des points chauds à différentes températures, etc...

Les frontières entre ces différents cas doivent rester floues pour permettre un choix fondé sur l'expérience et la réflexion de l'utilisateur de la méthode.

a) Groupe de l'acétylène

Parmi les défaut électriques, une configuration particulière est à signaler :

Le cas où il y a peu d'acétylène avec une nette prédominance des hydrocarbures saturés en C_2 et C_3 sur leurs homologues éthyléniques : il s'agit de nombreuses décharges partielles de petites amplitudes superposées à quelques fortes décharges. En général cela s'accompagne d'un rapport CH_4/H_2 plus petit que 1, mais l'hydrogène diffusant facilement, cela n'est pas toujours observé.

b) Groupe de l'éthylène

Le groupe de l'éthylène correspond, soit à des points chauds dont on peut essayer de chiffrer la température en utilisant le rapport CH_4/C_2H_4, soit à des décharges partielles pour lesquelles on retrouve la configuration où les hydrocarbures saturés en C_2 et C_3 dominent leurs homologues éthyléniques.

c) Groupe du CO_2

Le groupe du CO_2 correspond, soit à un vieillissement thermique normal soit à des faibles décharges partielles intéressant une isolation solide. Un rapport CO/CO_2 plus grand que 0,1 (beaucoup plus grand que 0,1) est significatif de décharges partielles intéressant une isolation solide.

d) Croupe de l'hydrogène

Il s'agit toujours de décharges partielles.

2.3.4. Essai de localisation – Une isolation solide est-elle impliquée ou non ? CO et CO_2 sont significatifs de la dégradation d'une isolation solide contenant du carbone et de l'hydrogène dans ses molécules constitutives.

Malheureusement le vieillissement normal du papier produit également du CO_2 et environ 10 p. cent de CO par rapport au CO_2, aussi ne peut-on affirmer qu'une isolation solide est touchée que dans la mesure où le rapport CO/CO_2 dépasse largement 0,1, ou si la concentration en CO_2 est tellement élevée qu'il ne puisse y avoir de doute.

2.3.5. Recherche des causes possibles – Dans le tableau II, dernière colonne, figurent quelques exemples de défauts identifiés sur matériel en service et pouvant correspondre aux résultats de l'analyse.

Il s'agit d'une liste non limitative et là encore il faut recommander une certaine souplesse dans l'interprétation et considérer qu'il s'agit d'une trame de réflexion et non d'un cadre rigide.

2.3.6. Particularité de la méthode – La particularité de la méthode réside dans l'utilisation des hydrocarbures en C_3.

On a observé au cours de très nombreux essais en cellule et également sur un grand nombre d'appareils en service (dans lesquels de la cire X a été trouvée lors du décuvage) que les petites décharges partielles donnaient de préférence naissance à un hydrocarbure saturé, plutôt qu'à son homologue éthylénique, tandis que dans les phénomènes thermiques étudiés, entre 80 et 900°C, en l'absence d'air, le phénomène inverse se produit.

Cette observation permet de soulever une des difficultés importantes dans le diagnostic des défauts latents.

En effet, la différentiation entre décharges partielles et point chaud devrait pouvoir s'établir grâce aux rapports CH_4/H_2 et C_2H_4/C_2H_6 qui sont normalement plus petits que 1 dans le cas de faibles décharges partielles, et plus grand que 1 dans le cas d'un point chaud. Mais, pour tous les phénomènes de décharges partielles qui sont caractérisés par une évolution très lente, la vitesse de diffusion de l'hydrogène n'est pas négligeable devant sa vitesse de production, circonstance que vient encore aggraver la faible solubilité de ce gaz dans l'huile. Il s'en suit que la valeur du rapport CH_4/H_2 déterminée à partir des concentrations des gaz restant dissous dans l'huile peut apparaitre plus élevée qu'elle ne le serait si les concentrations correspondaient aux quantités réellement produites.

En d'autres termes et de façon paradoxale, ce sont les gaz produits en quantité les plus faibles que l'on trouve aux concentrations les plus élevées. Ceci conduit alors à suspecter la présence de décharges partielles lorsque la famille des alcanes est prépondérante, en excluant le méthane seul hydrocarbure en C_1.

Par ailleurs, on a observé également que, lorsque des arcs intenses étaient immédiatement coupés par le fonctionnement des protections, les hydrocarbures en C_3 ne prenaient que peu (ou même pas) naissance, alors que au contraire ils prennent naissance en quantité importante lors des phénomènes électriques peu intenses mais de longue durée, comme les décharges partielles.

3. ETUDE STATISTIQUE D'UNE FAMILLE DE TRANSFORMATEURS DONT LE COMPORTEMENT EST APPAREMMENT NORMAL.

3.1. Transformateurs de centrales hydrauliques – Dans un transformateur d'un certain âge, on trouve toujours une certaine quantité de gaz dissous provenant d'un vieillissement normal. Il est alors nécessaire de définir quelles sont, pour les différents gaz caractéristiques d'une dégradation, les valeurs des concentrations au-dessus desquelles il convient de suspecter la présence d'un défaut latent.

L'étude de la distribution des concentrations des gaz caractéristiques, obtenus à partir de prélèvements de routine effectués dans les différentes unités d'une famille de transformateurs, permet de définir pour chacun de ces gaz la valeur de la concentration qui ne se trouve dépassée que pour un petit nombre d'entre eux (10 p. cent par exemple). Cette valeur peut constituer une première évaluation de la concentration "normale" dont le dépassement sera l'indication que l'appareil en question doit être soumis à des analyses périodiques suffisamment fréquentes pour que la réalité du défaut suspecté soit confirmée et que, le cas échéant, son évolution dans le temps puisse être bien connue.

Une telle étude a été effectuée à partir d'analyses de prélèvements provenant de 74 transformateurs d'usines hydrauliques d'Electricité de France considérés comme sains, du fait que leur comportement s'est avéré normal jusqu'à ce jour. Il s'agit de transformateurs dont les tensions nominales vont de 150 à 400 kV et dont les puissances vont de 30 à 100 MVA.

Un premier examen a montré qu'il n'y avait pas de relation entre l'âge du transformateur et la valeur des concentrations, bien que certains de ces transformateurs aient été mis en service depuis fort longtemps. Il a donc été décidé de n'en pas tenir compte.

Par ailleurs, on a choisi d'utiliser la distribution log-normale pour cette étude et les figures 1, 2, 3, 4 montrent que, dans ce cas, la distribution des logarithmes des concentrations des principaux gaz (à l'exception de l'acétylène qui sera considéré plus loin) s'écarte peu d'une distribution gaussienne. Le Tableau III donne les résultats de cette première étude.

Toutefois, un examen attentif des analyses et des rapports des concentrations des différents gaz pris 2 à 2 a permis de distinguer pour l'ensemble des 74 transformateurs, 3 familles par ailleurs très inégales par le nombre d'appareils :

1) L'acétylène n'a été trouvé que dans 13 seulement de ces transformateurs, aussi est-il apparu justifié de les considérer comme formant une famille à part.

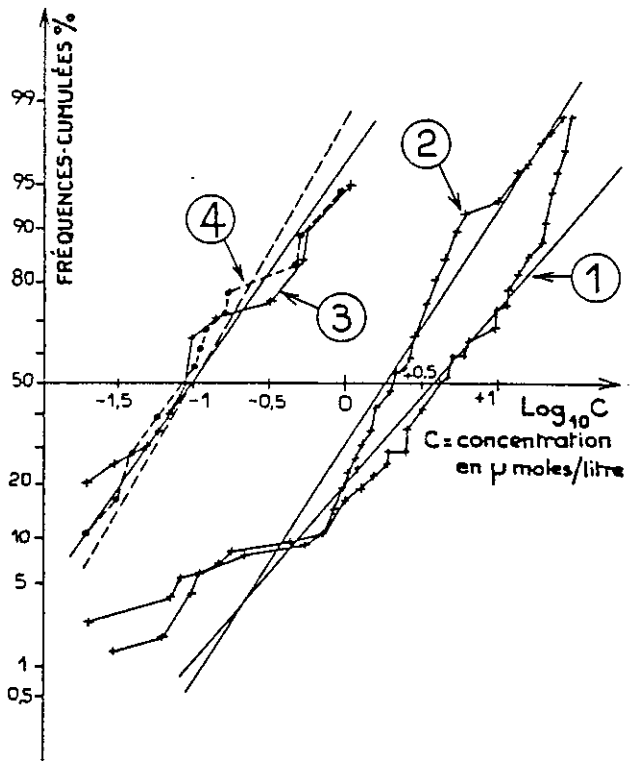


Figure 1 – Distribution des concentrations dans un ensemble de transformateurs de centrales hydrauliques.

1 – Propane (74 appareils)
2 – Propène (74 appareils)
3 – Propadiène (19 appareils)
4 – Propyne (17 appareils)

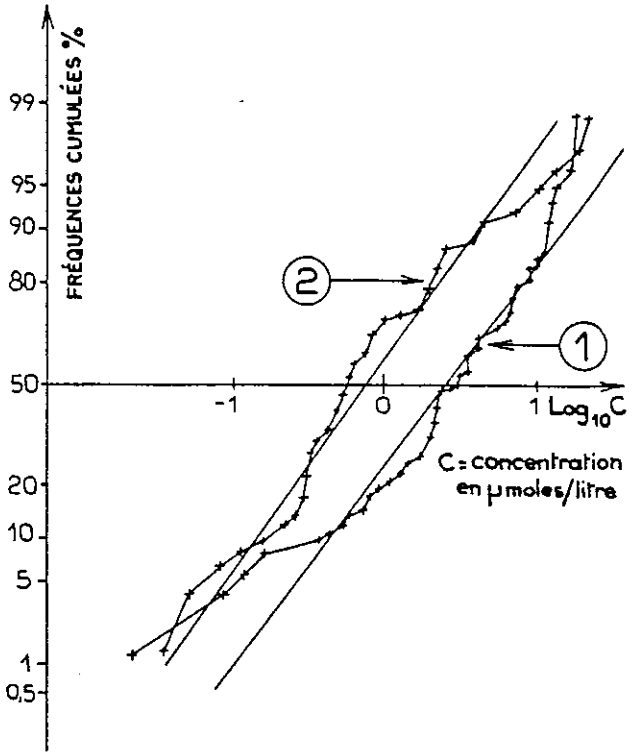


Figure 2 – Distribution des concentrations dans un ensemble de transformateurs de centrales hydrauliques.

1 – Ethane (74 appareils)
2 – Ethylène (74 appareils)

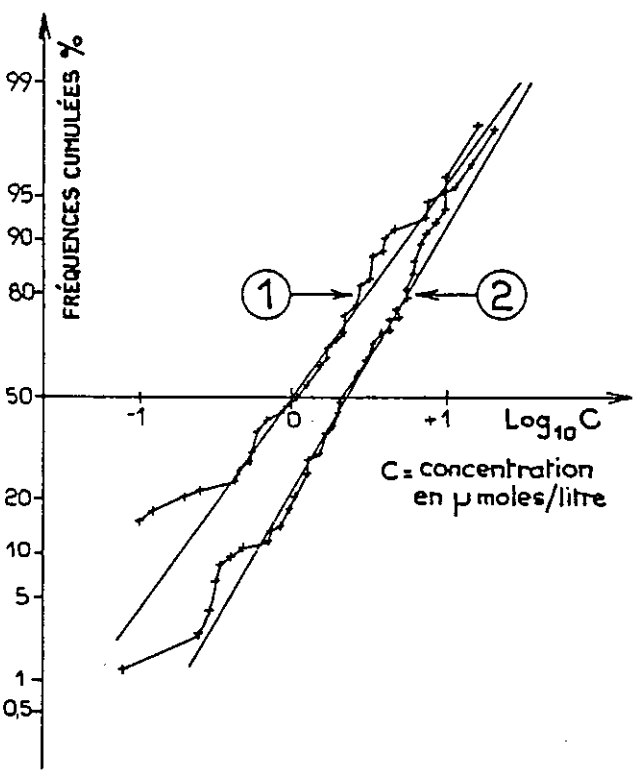


Figure 3 – Distribution des concentrations dans un ensemble de transformateurs de centrales hydrauliques.

1 – Hydrogène (69 appareils)
2 – Méthane (74 appareils)

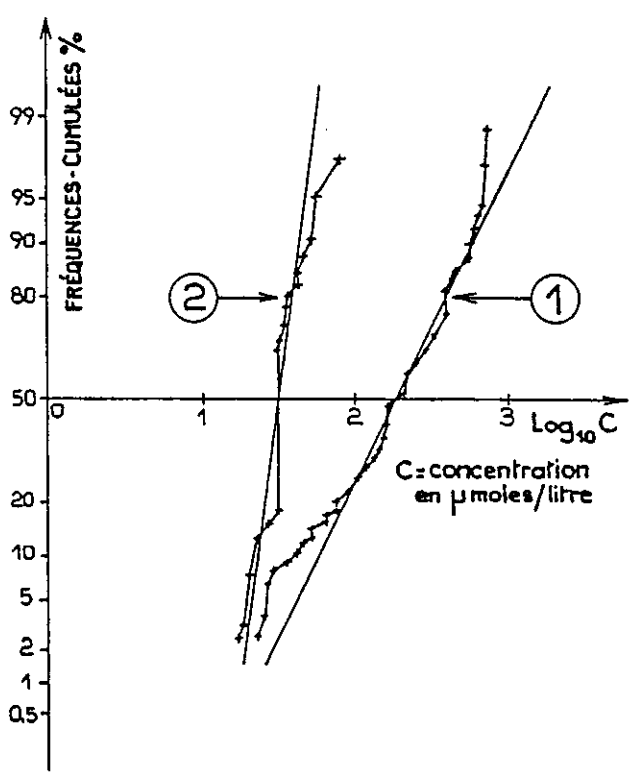


Figure 4 – Distribution des concentratons dans un ensemble de transformateurs de centrales hydrauliques.

1 – Dioxyde de carbone (74 appareils)
2 – Oxyde de carbone (33 appareils)

Tableau III

Concentrations caractéristiques des transformateurs de centrales hydrauliques.

Gaz	Ensemble des 74 transformateurs		Famille des 52 transformateurs donnant des analyses homogènes	
	Concentrations en μ moles/litre		Concentrations en μ moles/litre	
	Moyenne géométrique	Valeur qui n'est dépassée que par 10 p. cent des appareils	Moyenne géométrique	Valeur qui n'est dépassée que par 10 p. cent des appareils
H_2	0,9	4	0,8	4
CH_4	2,2	7,5	1,8	6
C_2H_6	2,5	12	2	10
C_2H_4	0,7	4,6	0,5	2,2
C_3H_8	3,5	22	3	20
C_3H_6	1,9	5,5	1,5	4
CO	32	50	30	50
CO_2	179	590	180	670
N_2	2800	3300	2800	3100
O_2	234	710	250	720

N.B. Le choix de la moyenne géométrique résulte du fait qu'elle s'introduit naturellement par la distribution log-normale puisqu'elle correspond à la moyenne arithmétique des logarithmes des concentrations.

2) 52 des autres transformateurs présentent des analyses semblables, en ce sens que les rapports C_2H_4/C_2H_6 et C_3H_6/C_3H_8 sont, soit tous les 2 inférieurs à l'unité (44), soit l'un un peu supérieur, l'autre un peu inférieur à l'unité (8).

3) Les 9 transformateurs restants se distinguent des précédents, soit parce que les 2 rapports en question sont nettement supérieurs à l'unité, soit parce que les valeurs des concentrations trouvées pour l'ensemble des gaz caractéristiques conduisent à les classer dans la catégorie des appareils suspects compte tenu de l'expérience déjà acquise. Ils constituent ce que nous appellerons la 3ème famille.

Dans ces conditions, il est apparu raisonnable de considérer que les 52 appareils précédents constituaient la famille représentative du comportement normal du parc de transformateur considéré, et qu'ils devaient être traités séparément des autres.

L'étude de la distribution des concentrations des différents gaz dans les 52 transformateurs en question a conduit aux résultats présentés aussi dans le Tableau III.

On peut constater que la sélection opérée dans l'ensemble des 74 transformateurs, si elle a permis de dégager un aspect particulier de la normalité basé sur une certaine homogénéité dans la composition des gaz dissous, et partant sur la possibilité d'une même origine, n'a pas pour autant modifié de façon notable les valeurs des concentrations retenues comme caractéristiques d'un comportement normal.

L'acétylène, le propadiène et le propyne, qui ne se trouvent que dans un nombre restreint de transformateurs, ne figurent pas dans le Tableau III. Ils correspondent à des mécanismes de détériorations relativement rares et donc à priori suspects. Le nombre insuffisant des transformateurs concernés rendrait tout traitement statistique illusoire. On peut toutefois conclure que les valeurs à retenir pour caractériser un comportement normal sont faibles et que l'expérience actuelle les situe autour de 0,2 μ moles/litre.

A titre d'exemples, le Tableau IV donne quelques analyses caractéristiques des différentes familles considérées ci-dessus.

Cela dit, il convient de s'interroger sur la signification des valeurs des concentrations ainsi déterminées. La valeur à 90 p. cent fournit un ordre de grandeur des valeurs limites qui peuvent être adoptées, mais ces valeurs devront en définitive être choisies plus ou moins restrictives, selon les risques que l'on admet d'accepter et la représentativité de l'échantillonnage pris en compte par l'étude.

Nº Sist					
TN8	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria de pintura de alto contenido en Zinc (92% en Zn mínimo) o similar (esp. ≥ 40 µm)	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla, epoxídica sin disolvente (esp. total ≥ 400 µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica: contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante de un 40% en volumen
TN9	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3	Metalización Zinc o Zinc-Alu 85/15 (esp. ≥ 120 µm) Tapaporos	3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla (esp.total ≥ 450 µm)	por pistola airless recomendada	
TN10	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3	Metalización Zinc o Zinc-Alu 85/15 (esp. ≥ 120 µm) Tapaporos	3 ó 4 capas de pintura bituminosa, brea de hulla (esp. total ≥ 600 µm)	por pistola airless recomendada	
TN11	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria de pintura de alto contenido en Zinc (92% en Zn mínimo) o similar (esp. ≥ 40 µm)	2 capas de pintura bituminosa, brea de hulla, epoxídica con disolvente (esp. total ≥ 250 µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica: contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante de un 40% en volumen
TN12	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	Metalización Zinc o Zinc-Alu 85/15 (esp. ≥ 120 µm) Tapaporos	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla epoxídica con disolvente (esp. total ≥ 400 µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica: contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante en un 40% en volumen
TN13	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria a base de resinas epoxídicas (esp. ≥ 45 µm)	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla, epoxídica con disolvente (esp. total ≥ 400 µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica: contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante de un 40% en volumen

Nº Sist.					
TN14	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3	Metalización Zinc o Zinc-Alu 85/15 (esp. ⩾ 120 µm) Tapaporos	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla, epoxídica, sin disolvente (esp. total ⩾ 400 µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica: contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante de un 40% en volumen
TN15	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5 si posible, y en caso contrario decapado mecánico		1 capa de grasa pasivante (2 kg/m^2) - revestimiento tela de vidrio	con guante	
TN16	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5		1 capa de pintura bituminosa, brea de hulla (1 kg/m^2) Revestimiento tejido de vidrio 1 capa de pintura bituminosa, brea de hulla (1 kg/m^2)	con guante	
TN17	Decapado por poryección de abrasivos Ds 2,5 si posible, y en caso contrario decapado mecánico	1 capa primaria a base de resinas epoxídicas (esp. ⩾ 45 µm)	2 ó 3 capas de pintura epoxídica pura sin disolvente	por pistola airless recomendada	
TN18	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5 si posible, y en caso contrario decapado mecánico	2 capas de pintura a base de neopreno (esp. total ⩾120 µm)	2 ó 3 capas de pintura a base de Hypalon (esp. total ⩾ 180 µm)	con brocha o con rodillo	
TN19	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3 si posible, y en caso contrario decapado mecánico	Metalización Zinc (esp. total ⩾ 120 µm)	Parte "generador" - dos capas de pintura epoxídica-zinc (esp.total⩾80 µm) Parte "turbina" - dos capas de pintura bituminosa, brea de hulla epoxídica (esp.total ⩾ 250 µm)		

Nº Sist.					
TN20	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3	1 capa de pintura monocomponente especial a base de una combinación de resina sintética y de caucho clorado de consistencia normal (esp. $\geqslant$ 30 µm)	3 capas de pintura monocomponente especial a base de una combinación de resinas sintéticas y de caucho clorado de consistencia tixotrópica (esp. total $\geqslant$ 180 µm)	1a. mano: con brocha o con rodillo, y las otras tres con pistola airless	
RTNC 1	Decapado por proyección de abrasivos suaves y limitado en el tiempo, en caso de ser posible, y en caso contrario cepillado y limpieza	Según el espesor y el género de la capa de revestimiento afectada, y acto seguido sistema de pintura idéntico al de los trabajos nuevos.			
RTC 1	Decapado por proyección de abrasivos de ser posible y en caso contrario decapado mecánico	Intentar reformar el revestimiento de origen. En caso de que hubiese metalización y que sea imposible rehacerla, sustituir la misma por una capa de pintura con alto contenido de Zinc (92% de Zn como mínimo) (esp. $\geqslant$ 40 µm) y aplicar acto seguido la pintura proyectada para los trabajos nuevos.			

Fabricante: CONTRATO Nº

Dirección Postal: FICHA TECNICA Nº

Teléfono: Familia

Télex: Clasificación AFNOR:

SISTEMA (S) INTERESADO (S)

PRUEBAS DE CALIDAD EFECTUADAS				
SOPORTES Y LUGAR DE EMPLEO	REHABILITACION DE LA SUPERFICIE			
Productos utilizados	Reves-timiento	Capa primaria o de imprimación	Capa intermedia o de refuerzo	Capa de acabado
Denominación comercial				
I. CARACTERISTICAS				
Peso volumétrico a 20ºC (kg/l)				
Extracto seco				
. % en peso del producto				
. % en volumen del producto				
Pigmentos				
. género				
. % en peso del producto				
. % en volumen del producto				
Materia de carga				
. género				
. % en peso del producto				
. % en volumen del producto				
Aglomerantes				
. género				
. % en peso del producto				
. % en volumen del producto				
Disolvente				
. género				
. % en peso del producto				
. % en volumen del producto				
Espesor de la película seca µm				
. tolerancias µm				

NOTA: Salvo en casos específicos, la ficha se establece para el color convencional denominado gris azul medio nº 2, referencia 1625 de la norma AFNOR X08002.

Productos utilizados	Revestimiento	Capa primaria o de imprimación	Capa intermedia o de refuerzo	Capa de acabado
Consumo específico convencional (l/m^2)				
Temperatura límite de servicio				
Punto de chispa ºC				
Toxicidad (Color etiquetado)				
Colores que garantizan el comportamiento				
Aspecto de la película				
Acondicionamiento				
Duración de conservación en empaque de origen que no se haya abierto nunca (t > 0ºC)				
Duración práctiea de utilización después de mezcla a 20ºC				
2. UTILIZACION				
Soporte				
. contenido de humedad				
. pH límite				
. temperaturas límites ºC				
. rugosidades en um mínimas/maximas				
Atmósfera				
. temperaturas límites ºC				
. higrometría máxima entre estos límites				
Composición de la mezcla : género				
. base : % en peso				
: % en volumen				
: género				
. endurecedor : % en peso				
: % en volumen				
. duración de maduración				
Modos de aplicación preconizades				
Diluyentes autorizados				
. toxicidad (color etiquetado)				
Dilución autorizada para				
. brocha o rodillo				
. pistola AIRLESS				
. pistola convencional				

Productos utilizados	Revestimiento	Capa primaria o de imprimación	Capa intermedia o de refuerzo	Capa de acabado
Tiempo de secado . Fuera de atmósfera polvorienta . recubrible (mínimo/máximo) . definitivo				
3. LIMPIEZA Productos a evitar:				
4. METODO DE REPARACION				

APROVECHAMIENTO DE	FICHA DE EJECUCION SOPORTE METALICO	FICHA Nº
EMPRESA		MERCADO Nº

SOPORTE:

UNIDAD
EDIFICIO
NIVEL

EQUIPO:

SISTEMA DE REVESTIMIENTO:
FICHA TECNICA Nº

A - PREPARACION DE SUPERFICIE

Taller ☐ Obras ☐

Quemado
Lijado
Raspado
Desengrase
Decapado abrasivo

Eliminación del polvo
Decapado químico
Enjuagado
Inmersión
Secado

Estado final de la superficie: R: DS:

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

B - CAPA PRIMARIA

Taller ☐ Obras ☐

Pintura
Número de fabricación
Modo de aplicación
Higrometría
Temperatura
Espesor de la película seca

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

C - CAPA DE REFUERZO

Taller ☐ Obras ☐

Pintura
Número de fabricación
Modo de aplicación
Higrometría
Temperatura
Espesor de la película

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

D - RETOQUES Y PREPARACION ANTES DE APLICACION CAPAS DE ACABADO

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

E - CAPA (S) DE ACABADO

Taller ☐ Obras ☐

Pintura
Nº de fabricación
Modo de aplicación
Higrometría
Temperatura
Espesor de la película seca
Adherencia

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

Recepción de la ficha por EDF	Fase	A	B	C	D	E
	Fecha visado					

F - PREPARACION CORDONES DE SOLDADURA DE MONTAJE

Preparación

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

G - CAPA PRIMARIA SOBRE CORDONES

Pintura
Nº de fabricación
Modo de aplicación
Hidrometría
Temperatura

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

H - CAPA DE REFUERZO SOBRE CORDONES

Pintura
Nº de fabricación
Modo de aplicación
Hidrometría
Temperatura

Jefe de equipo	Autorización de pintar
Nombre: Fecha: Visa:	Nombre: Fecha: Visa:

Recepción de la ficha por EDF

Fase	F	G	H
Fecha Visa			

OBSERVACIONES

DIRECCIONES DE LOS PRINCIPALES FABRICANTES DE PINTURA QUE TRABAJAN PARA LA HIDRAULICA

ASTRAL

164, rue Ambroise Croizat 93204 SAINT-DENIS

Tél : (1) 820.61.64

BARTOLAC

Impasse Réaumur 78204 MANTES-LA-JOLIE

Tél : (3) 477.03.58

BITULAC

1 & 3, rue de la Cour des Noues 75020 PARIS

Tél : (1) 797.85.19

BITUMASTIC

17, rue du Président Krüger 92400 COURBEVOIE

Tél : (1) 333.00.55

BITUMES SPECIAUX

23, Avenue de la Grande Armée 75017 PARIS

Tél : (1) 755.75.40

FREITAG

Repris par RIPOLIN.

GACHOT (Rustoléum)

26 Bis, avenue de Paris
95230 SOISY-SOUS-MONTMORENCY

Tél : (1) 989.90.11

HEMPEL :

7, rue de Laborde 75008 PARIS

Tél : (1) 293.50.33

INERTOL

Centre SILIC 5, rue Le Corbusier 94533 RUNGIS

Tél : (1) 687.23.45

INTERNATIONAL-CELOMER

75, Bld Winston Churchill 76600 LE HAVRE

Tél : (35) 26.61.63

JULIEN-ANTICORROSION

5, Boulevard Michel 13013 MARSEILLE

Tél : (91) 66.21.28

LEFRANC

Repris par ASTRAL

MADER

49, avenue de la République
93300 AUBERVILLIERS

Tél : (1) 834.37.98

RIPOLIN

Ollainville B. P. N° 30
91290 ARPAJON

Tél : (6) 083.90.00

SIGMA

Berkeley Building 19, rue du Capitaine Guynemer
92081 PARIS-LA-DEFENSE Cédex 19

Tél : (1) 788.50.46

SOFRAP

29, rue de Miromesnil 75008 PARIS

Tél : (1) 266.30.42

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Especificación S.P.H nº 540 (Protección de los equipos de acero contra los agentes exteriores)

- Pliego de condiciones para trabajos de revestimiento nº 91.C.031.01, edición marzo de 1982 (E.D.F., Dirección del Equipo).

- Grupo de Enlace P.9 de la C.S.T. (Prevención de la corrosión en ambientes naturales) (1)

- Norma H.N. 20.S.50 (Especificación técnica aplicable para la preparación de las superficies ferrosas por proyección de abrasivos).

- Norma H.N. 20.M.62 (Protección de las superficies por metalización con pistola, mediante zinc, aluminio o aleación zinc-aluminio).

- Norma NF.A.91.201 (Metalización por pistola.

- Norma NF.A.35.511 (Productos granallados y pintados, fabricados de forma automática).

- Norma NF.A.35.512 (Recomendaciones para la utilización de productos granallados prepintados)

- Norma NF.T.30.071 (Degradación de las superficies pintadas)

(1) En curso de elaboración.

A N N E X E 7

REVETEMENTS ANTI-CORROSION.

GENERALITES.

PREPARATION DES SURFACES

Les surfaces doivent être traitées conformément aux prescriptions de la norme HN 20.S.50.

Les surfaces des pièces métalliques sont nettoyées par grenaillage ou par projection d'abrasifs si les conditions locales ne permettent pas la réalisation d'une installation de grenaillage, ou exceptionnellement par brossage mécanique, suivant l'état de surface demandé.

- Décapage par projection d'abrasifs

Les abrasifs minéraux devront être compatibles avec les dispositions du décret n° 69 558 du 6 Juin 1969 portant règlement d'administration publique en ce qui concerne les mesures particulières de protection des travailleurs (J.O. du 11 Juin 1969).

Le degré de nettoyage par grenaillage ou projection d'abrasifs est fixé par les clichés étalons de la carte de l'Office National d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle. Le degré "Ds 2,5" est le plus souvent demandé. Le degré "Ds 3" est exigé pour les surfaces destinées à la métallisation ou à l'application des produits dont l'adhérence nécessite les mêmes précautions. La rugosité nécessaire à une bonne adhérence doit être comparable à celle de l'étalon n° 18 du Rugotest n°3 du Laboratoire Central de l'Armement. Sur les surfaces préparées à blanc, il est nécessaire de prévoir un dépoussiérage et l'application immédiate de la métallisation, du traitement ou de la couche primaire du revêtement. Pour les applications sur chantier, la surface à nu ne devra, en aucun cas, rester plus de deux heures avant de recevoir la première couche de revêtement.

Matériaux utilisés pour le grenaillage et le projection d'abrasifs : en l'absence d'indication précise au contrat, le choix des matériaux est fait conformément aux indications du tableau I page 7 de la norme HN 20.S.50

Pour les conduites,si l'on ne peut avoir recours à la projection d'abrasifs, nous pouvons employer :

- Décapage dit mécanique à l'aide de machines à décaper. Le Ds 2 est recommandé après l'élimination totale des oxydes et de la calamine.

- Décapage par eau sous pression :

Même recommandation que ci-dessus. Pression : de l'ordre de 400 bars environ.

- Décapage par système auto-propulsé :

(Type REINHART) même recommandations que ci-dessus. L'avantage majeur de ce système est sa rapidité d'exécution (à ARTIGUES la conduite de 1250 m a été décapée en 13 minutes). En dehors du travail "effectif", il faut rajouter certaines contraintes qui peuvent s'estimer à une semaine

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 6

RECOMENDACIONES PARA EL CALCULO DE LA CONSTRUCCION DE REJAS DE TOMA DE AGUA

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Télex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

ELECTRICITE DE FRANCE

DIRECTION DE LA PRODUCTION
ET DU TRANSPORT

Service de la Production Hydraulique

3, rue de Messine
75 — PARIS 8ème
Tél. 256.94.00

Publication No 6
Edition de Décembre 1972
Référence D 421- 10
Df 22

Division Matériel

RECOMMANDATION
POUR LE CALCUL ET LA CONSTRUCTION DES GRILLES DE PRISE D'EAU DES USINES HYDRAULIQUES

D.421

61 pages.

Accessibilité :

Libre	☒
EDF–GDF	☐
Direction	☐
Restreinte	☐
Confidentielle	☐

Diffusion

SOMMAIRE

			Pages
1 -		GENERALITES	5
2 -		CARACTERISTIQUES D'UN ELEMENT DE GRILLE	5
3 -		CALCUL DES GRILLES	7
	3.1.	HYPOTHESES DE CALCUL MECANIQUE	7
	3.1.1.	Choix de l'écartement des barreaux	7
	3.1.1.1.	Conditions liées aux turbines	7
	3.1.1.2.	Conditions dictées par la protection des poissons ..	9
	3.1.1.3.	Conditions liées au cours d'eau ou à la prise	11
	3.1.2.	Position et inclinaison des grilles	12
	3.1.3.	Dimensionnement des barreaux	13
	3.1.3.1.	Charge de calcul des grilles de prise d'eau	13
	3.1.3.2.	Choc des corps flottants	16
	3.2.	ENTRETOISES	16
	3.2.1.	Résistance mécanique	16
	3.2.2.	Stabilité de la grille	17
	3.2.2.1.	Fréquence propre des barreaux	18
	3.2.2.2.	Fréquence des tourbillons alternés	19
	3.2.2.3.	Conditions de stabilité d'un barreau	20
	3.3.	PERTES DE CHARGE	21
	3.3.1.	Kirschmer-Thoma	21
	3.3.2.	Escande	22
4 -		TECHNOLOGIE DES GRILLES	24
	4.1.	FORMES DES BARREAUX	24
	4.1.1.	Profil n° 1 rectangulaire allongé	24
	4.1.2.	Profil n° 2 rectangulaire avec boudin à l'amont	24
	4.1.3.	Profils hydrodynamiques	25

NOTATIONS UTILISEES

A	Surface de la section droite d'un barreau
α	Angle d'inclinaison de la grille sur l'horizontale
b	Diamètre du jet (Pélton)
$\beta = \frac{1}{K^2}\left[\frac{(1-m)^2}{m^2} + (1-k)^2\right]$	(ESCANDE) (Voir courbes n° 9)
c	Longueur de la section droite du barreau
C	Charge par barreau dans le cas de charge constante sur tout le panneau
d	Ecartement des barreaux = distance entre faces en regard de 2 barreaux voisins
D	Diamètre d'une roue Kaplan
E	Module d'Young du métal utilisé
f	Fréquence propre de vibrations d'un barreau dans l'eau
f_o	" " " " fondamentale d'un barreau dans l'eau
f_v	" " " " d'un barreau dans le vide
F	Force d'impact d'un corps flottant frappant les grilles
φ	Fréquence des tourbillons alternés
φ_o	Valeur de φ pour le débit maximum
g	Accélération de la pesanteur
δ	Poids spécifique du métal du barreau. Pour l'acier $\delta \# 7{,}85$ daN/dm^3
Γ	Décélération d'un corps flottant frappant les grilles
h	Valeur de la perte de charge
H	Hauteur de chute nette
I	Moment d'inertie transversal du barreau
I_o	" " du barreau par rapport à l'axe parallèle au courant
I/v	Module de section
$k = \frac{d}{d+t}$	Coefficient ESCANDE
K	Coefficient THOMA-KIRSCHMER (voir tableau n° 8)
l	Longueur du barreau
L	Distance des entretoises
m	Coefficient de contraction (ESCANDE)
M	" " fixation des extrémités des panneaux (voir tableau n°2)
m	Moment fléchissant du barreau
N_s	Vitesse spécifique d'une turbine
n_1	Nombre d'aubes de la roue
n_2	Nombre de directrices (Francis)
p	Charge par unité de longueur du barreau en haut de la grille (obstruction totale)
$p + p_1$	" " " " " " " " bas de la grille (obstruction totale)
P	Probabilité de passage sans blessure pour un poisson de longueur y
r	Taux de travail de l'acier
R	Rayon de la roue
Re	Limite élastique du métal utilisé

I - GENERALITES -

Les grilles de prise d'eau des aménagements hydroélectriques sont destinées à protéger les turbines contre les éléments solides en suspension dans l'eau susceptibles de les endommager. Elles sont en outre, dans certains cas, imposées par le Service de la Pêche pour la protection du poisson.

2 - CARACTERISTIQUES D'UN ELEMENT DE GRILLE -

Au point de vue hydraulique et mécanique, un élément de grille est caractérisé par :

- l'écartement des barreaux (espace libre entre 2 barreaux) : d
- la longueur et l'épaisseur de la section du barreau : c et t
- l'écartement des entretoises : L
- la forme de la section droite des barreaux
- l'inclinaison des barreaux par rapport à l'horizontale : α

Les pertes d'énergie dans les grilles sont de la forme $\frac{h}{H} W$, formule dans laquelle :

- h : perte de charge dans les grilles, en mètres
- H : chute nette, en mètres
- W : énergie productible dans la période considérée.

On remarque immédiatement l'importance relative des pertes de charge dans les grilles des basses chutes par rapport à celles des hautes chutes. La vitesse de l'eau à travers les grilles, c'est-à-dire la surface de passage de l'eau, est déterminée en fonction d'une valeur de perte de charge qui résulte d'un calcul économique de pertes d'énergie.

La surface nette ainsi déterminée est en général majorée d'un pourcentage variable suivant l'importance et la nature des apports susceptibles de l'obstruer et des moyens mis en service pour la nettoyer. Ce pourcentage d'augmentation peut être de 15 à 25 %, parfois même davantage.

3 - CALCUL DES GRILLES -

3.1. Hypothèses de calcul mécanique.

3.1.1. Choix de l'écartement des barreaux.

Ce choix est conditionné par 3 paramètres qui sont liés respectivement :

- aux turbines qu'il s'agit de protéger,
- aux poissons dont on veut empêcher le passage,
- à l'emplacement de la prise.

3.1.1.1. Conditions liées aux turbines.

Turbines PELTON :

Pour ces turbines, le passage le plus étroit se situe entre l'aiguille et le bec de buse, sauf sur certaines vieilles machines où le croisillon de guidage de la tige d'aiguille comporte plus de quatre ailettes. De manière générale, comme il s'agit de hautes chutes, l'incidence de la perte de charge dans la grille sur le rendement global est faible, aussi il n'y a aucun inconvénient à retenir un écartement de l'ordre de 30 à 40 mm.

Turbines KAPLAN :

Ici les sections de passage dans la turbine sont grandes et les écartements de barreaux semblent pouvoir être déterminés en fonction du diamètre D de la roue. La valeur limite de l'écartement pour une grande roue de D = 6 mètres pouvant être fixée à 150 mm, pour les valeurs de D inférieures à 6 mètres, elle serait donnée par la formule:

$$d = 50 + \frac{100\,D}{6} \quad \text{mm} \qquad (1)$$

où D est exprimé en mètres,

ce qui donne pour :

En réalité, les poissons de longueur Y n'ont qu'une chance extrêmement mince de passer dans la turbine dans les conditions du calcul. Mais il est certain qu'un poisson de longueur supérieure n'en a aucune et que les chances de passage augmentent quand la longueur du poisson diminue.

La probabilité P de passage sans blessure dans la turbine pour un poisson de longueur y inférieure à Y est telle que :

$$y = Y\sqrt{\frac{1-P}{2}} \qquad (4)$$

Une fois calculée la longueur y, il faut connaître pour les espèces du cours d'eau qu'on désire protéger la loi de variation de l'épaisseur en fonction de la longueur.

On en déduira l'écartement à adopter entre barreaux pour empêcher le passage des poissons de longueur supérieure à y. On choisira évidemment parmi les espèces à protéger celle dont l'épaisseur est la plus faible pour la longueur y.

Dans chaque cas particulier, il conviendrait donc d'étudier la population piscicole du cours d'eau et d'en faire la mensuration.

Dans la généralité des cas, les Services de la Pêche se bornent à indiquer un écartement maximal des barreaux, sans tenir compte des caractéristiques des machines. Mais dans les cas où une discussion est ouverte sur le choix de l'écartement, il est bon de connaître la méthode ci-dessus.

3.1.1.3. Conditions liées au cours d'eau ou à la prise.

Dans certains cas, la prise d'eau peut être située de telle manière que certain type de matériau, de dimensions pouvant être connues à l'avance, s'y retrouvent de préférence. Il sera alors bon suivant la grosseur de ces matériaux et le danger qu'ils présentent pour les machines, de réduire ou d'augmenter les écartements donnés par les règles ci-dessus. Ces considérations peuvent être liées soit à la nature de certains végétaux abondants dans l'étendue du bassin versant, soit à l'implantation de la prise, par exemple à l'aval de la décharge des ordures d'une agglomération.

3.1.3. Dimensionnement des barreaux.

La bonne tenue mécanique des barreaux est menacée par les phénomènes suivants :

- obstruction partielle ou totale,
- choc des corps flottants,
- éventuellement vibrations (voir 3.2.2., in fine).

3.1.3.1. Charge de calcul des grilles de prise d'eau.

Pour le choix du degré d'obstruction à prendre en compte pour le calcul de résistance des barreaux, les opinions sont très divergentes, car les hypothèses pessimistes conduisent en général à des dépenses qui peuvent sembler prohibitives et inutiles en premier examen.

Le choix de la charge de calcul par rapport à la hauteur d'eau devra tenir compte, entre autres, des paramètres suivants :

- type de charriage et matériaux rencontrés,
- végétation et différentes essences d'arbres du bassin versant (arbres à feuilles caduques, conifères, etc...),
- présence possible d'exploitations forestières en amont,
- possibilité de formation de sorbets ou de banquises,
- situation de la prise dans une chaîne d'usines en cascade,
- décharges d'ordures en amont,
- profondeur de la prise par rapport au niveau normal et au niveau de crue,
- enfin, dans certains cas, pour les grilles profondes, impossibilité matérielle de calculer les barreaux pour l'obstruction totale.

On pourrait être tenté de faire intervenir, dans le choix de la charge d'obstruction, la nature des dispositions prises pour assurer le dégrillage. A notre avis, ce raisonnement serait aussi peu logique que celui qui conduirait à calculer les parties tournantes d'un groupe en disant que, s'il est équipé d'un détecteur de survitesse, il n'ira jamais à l'emballement. La présence ou l'absence de dégrilleur ne devra donc intervenir que dans le choix de la vitesse de l'eau, ce qui va déjà dans le sens d'une obstruction plus complète en cas de défaillance du dégrilleur.

Cependant, on veillera à ce que la charge de calcul des grilles reste inférieure à celle de l'infrastructure qui les supporte.

Enfin, il faut souligner la nécessité, lorsque les grilles ne sont pas calculées pour l'obstruction totale, de prévoir un détecteur de pertes de charge provoquant l'arrêt de l'usine lorsque la valeur de calcul est atteinte.

Une fois choisie la charge de calcul des grilles, le calcul de R D M est fait sans tenir compte des entretoises, en répartissant la charge totale sur le nombre de barreaux.

Si l'on considère le cas d'une obstruction partielle, la charge sur la grille est constante de haut en bas. Par contre, dans le cas où l'on prend en compte l'obstruction totale, on aura une charge répartie proportionnellement à la profondeur avec maximum vers le bas.

Le tableau (18) donné en annexe rappelle les formules à utiliser suivant le degré d'obstruction pris en compte, la disposition des grilles et suivant que les panneaux sont encastrés ou posés. On pourra être conduit, pour ne pas surdimensionner les barreaux, à prévoir des appuis transversaux intermédiaires, plus resserrés dans la partie basse de la grille. Ces appuis viendront en diminution de la section utile de passage. Dans les basses chutes surtout, on constituera ces appuis par des poutres BA ou acier à profil hydrodynamique. Ces appuis intermédiaires sont parfois appelés pannes.

Dans le cas où l'on prévoit des appuis intermédiaires, chaque longueur de grilles entre deux appuis consécutifs est soumise, dans l'hypothèse de l'obstruction totale, à une charge trapézoïdale augmentant vers le bas.

Enfin, lorsque les grilles ont une inclinaison notable et qu'on utilise un dégrilleur dont le chariot est très lourd, il sera bon de vérifier que la composante normale à la grille du poids apparent (1) du chariot et la poussée de l'eau sur le chariot, réparties sur deux barreaux, n'occasionnent aucune surcharge anormale des barreaux.

...

---

(1) Poids apparent = Poids - Poussée d'Archimède.

$$r = Re\left(1{,}23 - 0{,}0153\,\frac{L}{t}\right) \qquad (6)$$

où r est le taux de travail pris en compte dans le calcul des barreaux en daN/mm2 (≅ kgf/mm2)

- Re la limite élastique du matériau en daN/mm2
- L la distance entre entretoises en cm
- t l'épaisseur des barreaux en cm.

Cette formule conduit à des distances d'entretoises assez faibles. Ces distances sont données pour différentes valeurs de t en fonction de r pour un acier doux de Re = 23 daN/mm2 par le graphique (1) en annexe.

De toute façon, une règle pratique recommande de ne pas écarter les entretoises de plus de 70 fois l'épaisseur des barreaux :

$$L \leqslant 70\,t \qquad (7)$$

3.2.2. Stabilité des barreaux de grille.

La stabilité d'une grille est menacée par deux phénomènes distincts :

- les vibrations dues aux pulsations de pression de fréquence faible et irrégulière,
- la mise en résonance des barreaux avec les tourbillons alternés qui prennent naissance sur la face aval des barreaux avec une fréquence élevée et relativement régulière.

Les pulsations de pression provoquent dans les grilles dont l'assemblage est défectueux une usure et un matage des pièces de contact. D'où la nécessité de réaliser des éléments de grilles rigides et robustes soit par des assemblages mécaniques à serrage contrôlé, soit, de préférence, par des soudures continues exécutées dans les règles de l'art.

La mise en résonance des barreaux soumet ceux-ci à un travail de fatigue qui est cause de rupture dans un délai plus ou moins long. Pour éviter la résonance et ses conséquences fâcheuses, il faut que la fréquence propre f des barreaux soit très différente de celle φ des tourbillons alternés. Certaines sociétés américaines exigent que $f = 2{,}5\,\varphi$.

3.2.2.2. Calcul de la fréquence φ des tourbillons alternés.

La fréquence des tourbillons alternés est donnée par :

$$\varphi = \frac{1}{T} = \frac{S_t}{t} \times V_0 \quad \text{Hz} \qquad (10)$$

dans laquelle :

- T période des tourbillons en secondes,
- V_0 vitesse du courant en amont de la grille en cm/s,
- t épaisseur des barreaux en cm,
- $S_t = \frac{t}{V_0 T}$ "Nombre de STROUHAL", sans dimension, fonction de l'écartement des barreaux et de leur épaisseur. D'après les essais effectués par TEISSIER-SOLIER, la valeur limite (inférieure) de S_t pour un barreau rectangulaire est de 0,155.

Les graphiques des figures (4) et (5) permettent de calculer S_t en fonction de la forme des barreaux et de leur écartement.

Pour cela, on cherche d'abord sur la figure (4) la valeur limite de S_t pour la forme de barreau considérée.

Si l'écartement relatif des barreaux (rapport du pas des barreaux d + t à leur épaisseur t) est inférieur à 5, la valeur vraie de S_t est supérieure à la valeur limite donnée par la figure (4).

La courbe (5) donne la variation de S_t en fonction de l'écartement relatif des barreaux pour le profil de barreau représenté. On suppose que la variation de S_t en fonction de l'écartement relatif est la même pour les autres profils. Soit alors : S_{to} la valeur limite de S_t donnée par la figure (4) pour le profil utilisé,

- a l'écartement relatif des barreaux,
- S_{ta} la valeur de S_t donnée par la courbe (5) pour l'écartement relatif a.

...

Dans ce qui précède, nous ne nous sommes préoccupés que de la stabilité du barreau et non de celle de la grille. Cette manière de faire est légitime, car l'inégale répartition des vitesses entraîne pour les barreaux des fréquences différentes qui n'exercent pas sur la grille des efforts synchrones.

Plusieurs moyens se présentent donc pour éviter l'apparition du phénomène de résonance :

- diminuer la vitesse de l'eau, mais ceci augmenterait les dimensions des ouvrages (on a cependant intérêt à choisir une vitesse raisonnable de l'ordre de 0,5 à 0,8 m/s quand cela est possible),

- augmenter l'épaisseur des barreaux, mais ceci augmenterait également les dimensions des ouvrages et le poids des grilles,

- réduire l'écartement des entretoises, qui est la solution la plus économique, car ainsi on augmente peu les dimensions des ouvrages. C'est pourquoi les phénomènes de stabilité ont été étudiés à propos du dimensionnement des entretoises.

3.3. Pertes de charge dans une grille.

Il existe plusieurs formules pour le calcul de la perte de charge dans une grille. Les résultats trouvés diffèrent d'ailleurs assez sensiblement suivant la formule utilisée. On trouvera ci-après celles de THOMA, KIRSCHMER et ESCANDE. On se souviendra que ces formules donnent la perte de charge à travers la grille propre si on n'a pas tenu compte d'une certaine augmentation de la vitesse due à une obstruction partielle.

3.3.1. Formules de KIRSCHMER et THOMA.

- KIRSCHMER :

$$h = K\left(\frac{t}{d}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{V_0^2}{2g} \sin\alpha \qquad (13)$$

dans laquelle :

Les formules de THOMA et ESCANDE donnent des résultats parfois assez différents suivant les importances relatives de d et t. La prudence recommande de retenir la plus forte des deux valeurs trouvées.

Enfin, il faut remarquer qui si le dessin de la prise ou de la chambre d'eau est défectueux et engendre des courants traversiers importants, la perte de charge réelle sera bien supérieure, pour un débit et une section de grille déterminés, à celle donnée par les formules ci-dessus.

La grille se comporte alors comme une persienne ; l'étude de la perte de charge, dans ce cas, sort du cadre de ce papier.

Pour un écartement entre barreaux donné, le nombre des barreaux nécessaires est moindre qu'avec des barreaux rectangulaires.

Ce profil existe dans le commerce, mais le nombre des dimensions disponibles est bien moindre que pour le profil rectangulaire.

Au point de vue pertes de charge, il ne semble pas, en l'absence d'expérimentation, avoir d'importants avantages sur le précédent.

Un autre avantage de ce type de barreaux est que les décollements formés de part et d'autre du boudin sont suivis d'une zone d'eau morte située contre les faces latérales du barreau. Le courant arrive à peine à recoller à la paroi, ce qui empêche la pleine formation des tourbillons alternés et réduit les efforts correspondants.

Les avantages qu'il possède sont suffisants pour faire retenir ce profil toutes les fois que cela est possible. Cette forme de barreau est à rapprocher du profil Bourne (n° 3) utilisé pour les prises en dessous.

4.1.3. Profil hydrodynamique n° 4 et JOUKOWSKI (n° 5).

Avantage : très faible perte de charge.

Inconvénients :

- difficultés d'approvisionnement,
- difficultés d'assemblage des barreaux entre eux et sur les entretoises,
- augmentation des risques de vibrations, car le nombre de Strouhal augmente avec l'hydrodynamicité,
- dégrillage difficile,
- moment d'inertie transversal réduit.

Ces barreaux ne sont finalement à retenir que dans des cas particuliers où on exige une perte de charge faible et où les quantités à approvisionner justifient une fabrication spéciale.

4.2.3. Entretoises soudées.

4.2.3.1.

Un premier mode de réalisation est représenté par la figure (13) où les barreaux sont directement soudés sur la tige lisse qui les traverse. Il faut, comme indiqué plus haut, des soudures bien exécutées et continues. De plus, les panneaux doivent être maintenus soigneusement pendant le soudage pour assurer l'équidistance des barreaux. Cette solution n'est pas non plus très avantageuse.

4.2.3.2.

Enfin, nous insisterons tout particulièrement sur le mode d'assemblage recommandé des figures (14) et (15).

Il s'adapte particulièrement bien aux profils de barreaux rectangulaire et rectangulaire à boudin n° 1 et 2.

L'entretoise est constituée par un peigne dans les évidements duquel sont logés les barreaux. Une soudure continue et qui doit être très soigneuse est réalisée tout le long de la ligne d'intersection des barreaux et du peigne.

Les indentations des entretoises sont réalisées par fraisage ou encochage à la presse (1) d'un fer plat ou d'un laminé de section rectangulaire ou, mieux, arrondi à l'amont, ce qui assure une équidistance parfaite des barreaux. Pour les grilles inclinées, le fraisage du fond d'encoche, peut être fait de manière à rendre les entretoises parallèles aux lignes de courant, ou tout au moins horizontales. Avec ce mode d'assemblage, l'arête amont de l'entretoise peut être beaucoup plus reculée qu'avec les autres, ce qui facilitera le dégrillage. En outre, le barreau conserve son moment d'inertie.

Pour les barreaux profilés, ce mode d'assemblage peut également être utilisé, mais les entretoises doivent alors être fraisées avec un outil à profil spécial.

...

---

(1) Il est bon de prévoir de prévoir le fraisage ou l'encochage de l'entretoise un peu plus large que l'épaisseur du barreau de 0,5 à 1 mm par exemple.

4.3. Choix des matériaux.

4.3.1. Nuance de l'acier - Taux de travail.

Pour les barreaux et entretoises des grilles soudées, on utilisera exclusivement des aciers laminés réputés soudables. Le taux de travail pour la sollicitation maximum ne devra pas dépasser les 2/3 de la limite élastique du produit considéré.

Dans la majorité des cas, ces aciers pourront être choisis parmi ceux définis par le P.N. A 35 501, à savoir :

- pour les constructions très faiblement chargées :

  ADx ou ADx charpente pour lesquels on notera que le P.N. ne prévoit aucun indice de pureté et n'impose pas de valeur inférieure pour la limite élastique (on pourra prendre dans les calculs un taux de travail $\leqslant$ 10 daN/mm2).

  On utilisera de préférence les aciers indiqués ci-après dont les qualités sont mieux définies que celles des ADx :

- pour les autres constructions et suivant le taux de travail envisagé :

A 37 - 2	A 37 - 3		(Re = 21 daN/mm2)
A 42 - 2	A 42 - 3	A 42 - 4	(Re = 23 daN/mm2)
A 52 - 2	A 52 - 3	A 52 - 4	(Re = 35 daN/mm2)

Dans le cas spécial de grilles très chargées, on pourra utiliser des aciers faiblement alliés, tels que certains aciers à caractéristiques améliorées, et en particulier :

22 M 5 - f	(Re = 39 daN/mm2)
13 NC D5 - 18 NC D2	(Re $\geqslant$ 50 daN/mm2)
16 NC D6	(Re $\geqslant$ 68 daN/mm2)

Mais il faut éviter d'utiliser, comme certains le préconisent, des aciers inoxydables 10 à 12 % de Cr et tous aciers inoxydables en général qui, outre leur prix élevé et leur difficulté de soudage, ont le grave inconvénient de constituer des cathodes pour toutes les parties métalliques immergées en acier moins noble situées au voisinage, qui risqueront ainsi d'être corrodées.

4.4. Assemblage des panneaux entre eux.

Les grilles sont constituées soit de panneaux d'un seul tenant du bas en haut du pertuis et juxtaposés dans la largeur (grilles de hauteur faible et moyenne), soit de panneaux superposés dans la hauteur et juxtaposés dans la largeur (grilles de grande hauteur).

Les panneaux sont soit simplement posés, soit vissés sur les pannes, encastrés par des tirants ou vissés à l'intérieur de profilés. Il est préférable d'avoir des panneaux encastrés ou vissés, surtout dans le cas où il existe un dégrilleur mécanique. De plus, la fréquence propre de vibration des panneaux encastrés est bien supérieure à celle des panneaux posés. L'assemblage doit être réalisé de manière à interdire tout déplacement latéral des panneaux et à assurer une continuité parfaite des barreaux à la jonction de 2 panneaux superposés.

Parfois, les panneaux de grilles sont engagés dans des rainures identiques à des rainures à batardeaux, ce qui facilite leur démontage depuis le haut sans mettre hors d'eau l'ensemble de la prise et assure un encastrement du panneau sur tout son pourtour.

Les panneaux juxtaposés seront assujettis de manière à ce que les 2 barreaux voisins de 2 panneaux différents soient au même pas que le reste de la grille. Ce résultat peut être obtenu en jouant sur les entretoises, celles-ci étant alternativement arrêtées au ras du dernier barreau pour une entretoise et à une distance égale à l'écartement des barreaux pour la suivante et en inversant cette disposition sur le panneau voisin.

4.5.2. Protection cathodique.

La solution la plus satisfaisante en eau corrosive semble bien être une protection cathodique réalisée en immergeant en amont de la grille une ou plusieurs anodes sacrificielles en zinc, aluminium ou magnésium reliées électriquement à la grille.

Pour fixer un ordre de grandeur, on pourra retenir que 1 dm^2 de zinc protège dans l'eau de mer immobile :

- 8 m2 d'acier fraîchement peint,
- 2 m2 d'acier nu.

La protection sera conditionnée entre autres par :

- la nature de l'eau (pH, composition),
- sa vitesse,
- sa teneur en oxygène dissous, etc...

4.5.3. Dispositions à éviter.

Enfin, on peut citer pour les grilles comme pour toutes les structures métalliques immergées un certain nombre de dispositions à proscrire, car elles favorisent la corrosion :

- soudures des pièces en acier ordinaire avec des électrodes en acier inoxydable austénitique,
- association dans une même structure immergée d'acier ordinaire et d'acier inoxydable, en particulier fers de fixation ou visserie en inox sur des grilles en acier ordinaire,
- utilisation de boulons en acier ordinaire avec des écrous en inox ou l'inverse,
- lorsqu'on désire se réserver une possibilité de démontage facile sous eau par des hommes-grenouilles, on utilisera pour la visserie, plutôt que de l'acier inoxydable, du bronze d'aluminium. On veillera à ce que la nuance de cuproaluminium utilisée contienne un peu de nickel.

En règle générale, il faut retenir que tous les éléments de la structure métallique immergée, y compris la visserie, doivent être en acier de même nature, et de même nature que celui des structures immergées voisines, de manière à ne pas créer de couple.

⑤ Plan de calcul

(Nous récapitulons ci-après la marche du calcul et les principaux éléments de choix des divers paramètres.
Les chiffres entre parenthèses renvoient aux chapitres et paragraphes correspondants.)

ELEMENTS DE BASE

1 _ Choix d'une vitesse

Basse et moyenne pression : $0{,}30 < V < 1{,}20$ m/s
Haute pression $V < 3{,}50$ m/s

→ Dimensions des pertuis

2 _ Ecartement des barreaux (3.1.1.1)

Pelton $d = 30$ à 40 mm

Francis $d = \left(30 + 70 \frac{Qm^3/s}{100} \times \frac{200}{NS}\right)$ mm

Kaplan $d = \left(50 + \frac{100\,D}{6}\right)$ mm

3 _ Position des grilles (3.1.2)

Prendre si possible 30° environ par rapport à la verticale

4 _ Choix de la charge de calcul (3.1.3.1)

5 _ Choix de la forme des barreaux (4.1)

4.1.2 : forme recommandée

→ Charge par barreau

6 _ Dimensions du barreau . Pour calcul R.D.M : tableau ci-dessous ou tableau 18

	Obstruction totale	Charge constante
Panneau encastré	$m_x = \left(\frac{pl}{2} + 3\frac{p_1 l}{20}\right)x - \left(\frac{p}{12} + \frac{p_1}{30}\right)l^2 - \frac{x^2}{6}\left(3p + \frac{p_1 x}{l}\right)$ Maximum pour $x = l$	$m_{max} = \frac{Cl}{12}$ pour $x = 0$ et $x = 1$ $m = 0$ pour $x = 0{,}21l$
Panneau posé	$m_x = \frac{1}{6}(p_1 + 3p)x - p\frac{x^2}{2} - \frac{p_1}{6l}x^3$ Maximum pour $x = -\frac{3pl + l\sqrt{3[p^2 + (p_1+p)^2 + p(p_1+p)]}}{3p_1}$	$m_{max} = \frac{Cl}{8}$ pour $x = \frac{l}{2}$

$m_{max} = r_{max} \frac{l}{V}$

$r_{max} \leqslant \frac{2}{3} Re$

Dimensions des barreaux

7 _ Choix du métal (4.3.1)

8 _ Entretoises (4.2) $r = Re\left(1{,}23 - 0{,}0153\frac{L}{t}\right)$

4.2.3.2 mode d'assemblage recommandé

9 _ Assemblage des panneaux entre eux (4.4)

10 _ Protection corrosion (4.5.)

ELEMENTS DE CORRECTION OU D'APPRECIATION

- Moyens de dégrillage.
- Nature des apports.
- Perte d'énergie consentie : $\frac{h}{H} W$
- Conditions liées au cours d'eau (3.1.1.3)
- Service de la pêche (3.1.1.2)

Pertes de charge : (3.3)

ESCANDE $h = \beta \frac{V^2}{2g}$

ou

THOMA $h = K\left(\frac{t}{d}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{V_0^2}{2g}$

Stabilité : (3.2.2)

Barreaux : $f_v = M\sqrt{\frac{gE}{\gamma}} \times \frac{e}{L^2}$

avec $e = \sqrt{\frac{I_0}{A}}$ et $f = fv \times \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma + \frac{d}{t}\gamma'}}$

Tourbillons : $\varphi = \frac{St}{l} V_0$

$f_0 > \varphi_0$

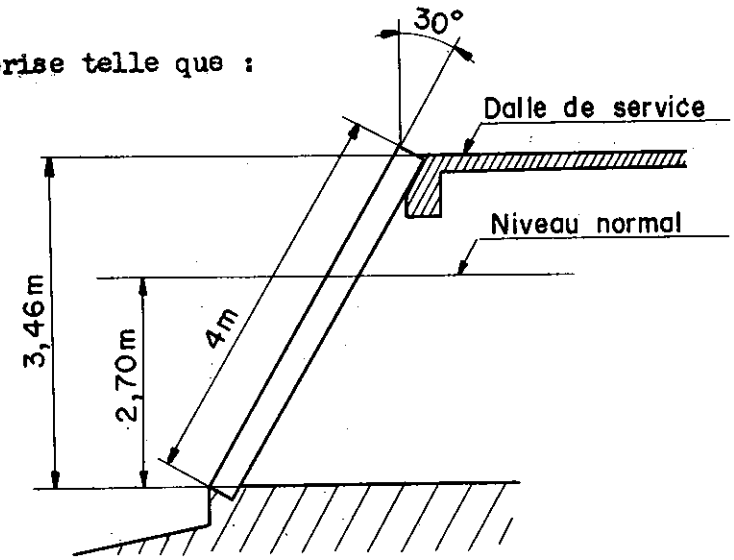
Appuis transversaux intermédiaires ?

Choc des corps flottants (3.1.3.2) $F \# PV_1$

Courbes N° 4.5.7

6 - EXEMPLE DE CALCUL.

Soit une prise telle que :



- Q = 8 m3/s
- largeur 6 mètres
- niveau normal au-dessus du seuil : 2 m 70
- longueur totale des barreaux : 4 mètres
- inclinaison des barreaux sur la verticale : 30°

La chute est équipée d'un groupe à 2 roues Francis en porte-à-faux tel que :

- Ns = 140
- Q = 4 m3/s par roue.

La vitesse de l'eau en amont immédiat de la grille est :

$$V_o = \frac{8}{6 \times 2,70} \cong 0,50 \text{ m/s}$$

6.1. Ecartement des barreaux.

L'espacement des barreaux est donné par la formule (2) :

$$d = 30 + 70 \times \frac{4}{100} \times \frac{200}{140} = 34 \text{ mm}$$

6.2. Choix des barreaux.

Nous choisissons des barreaux rectangulaires avec boudin à l'amont. Soit pour fixer les idées : 12 mm le diamètre du boudin.

Pas de la grille : 34 + 12 = 46 mm.

En cas d'obstruction totale, chaque barreau doit supporter l'effort sur une bande de 46 mm de large, ce qui correspond à une charge maximum au bas de :

$$\frac{3,46}{10} \times 4,6 = 1,6 \text{ daN/cm} = 160 \text{ daN/m}$$

6.2.1. Charge de calcul.

Dans l'hypothèse de l'obstruction totale, l'eau atteignant le niveau de la dalle, nous utilisons la formule de l'annexe (18) pour un panneau encastré. Nous avons :

$p = 0$

$p + p_1 = p_1 = 160$ daN/m

$l = 4$ m.

Le moment est maximum en B. Il vaut

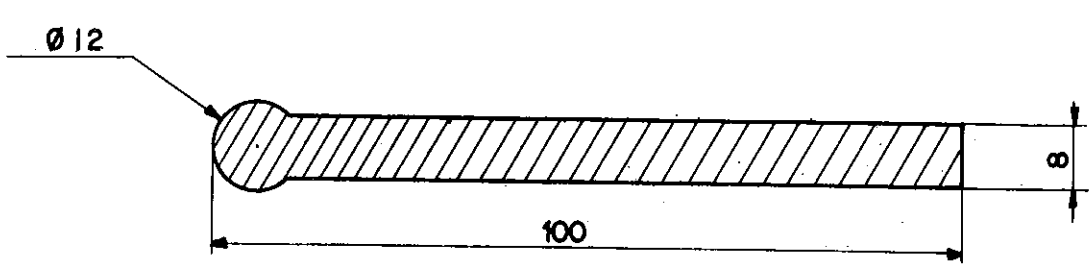
$$\mathcal{M}_B = \frac{p_1}{20} l^2 = \frac{160}{20} \times 16 = 128 \text{ daN x m}$$

Les réactions aux appuis sont :

$$R_A = 3 \frac{p_1}{20} l = 3 \times \frac{160}{20} \times 4 = 96 \text{ daN}$$

$$R_B = 7 \frac{p_1}{20} l = 7 \times \frac{160}{20} \times 4 = 224 \text{ daN}$$

Nous choisissons un barreau en acier doux dont les dimensions sont données ci-dessous :



Le module d'inertie du barreau rectangulaire de même épaisseur et même longueur est :

$$\frac{I}{V} = \frac{0,8 \times 100}{6} = 13,3 \text{ cm3}$$

Le taux de travail dans ce barreau sera :

$$r = \frac{128,0}{13,3} = 9,55 \text{ daN/mm2}$$

Il n'y a pas lieu de prévoir de panne intermédiaire.

Pour ce barreau, on a : $\rho = 0,2887 \times 0,8 = 0,231$

Une telle grille peut résister sans déformation au choc d'un corps la frappant à mi-hauteur, tel que :

$$\mathcal{M} = E \times \frac{I}{V} = 20 \times 13,3 = 256 \text{ daN x m}$$

Comme alors $\mathcal{M} = \frac{F L}{8}$

$$F = \frac{8}{4} \mathcal{M} = 532 \text{ daN}$$

ce qui d'après 3.1.3.2 correspond à un corps flottant tel que :

$$P = \frac{F}{V_1} = \frac{532}{0,5} = 1064 \text{ daN}$$

en supposant que le choc soit subi par un seul barreau et que les entretoises ne transmettent aucun effort.

6.3. Entretoises.

Soit 20 daN/mm2 la limite élastique de l'acier utilisé ; en appliquant la formule (6), on trouve :

$$1{,}23 - \frac{10}{20} = 0{,}0153 \frac{L}{t}$$

avec $t = 8$ mm on trouve : $L = 380$ mm.

Le graphique de la figure (7) nous montre que pour une vitesse entre barreaux de $0{,}5 \times \frac{38 + 7}{38} \cong 0{,}6$ m/S il n'y a pas risque de vibration jusqu'à une distance $L = 600$ mm ; nous allons cependant vérifier la tenue des barreaux aux vibrations :

nous choisissons : $L = 350$ mm.

6.3.1. Fréquence propre des barreaux.

$$f_v = 3{,}56 \sqrt{\frac{981 \times 2.100.000}{0{,}008}} \times \frac{0{,}231}{1200} = 330 \text{ Hz}$$

dans l'eau $f_o = 330 \times \sqrt{\frac{0{,}008}{0{,}008 + \frac{34}{8} \times 0{,}001}} = 0{,}805 \times 330 = 266$ Hz

6.3.2. Fréquence des tourbillons alternés.

Prenons S_t limite $= 0{,}240$

Comme $\frac{d + t}{t} = \frac{46}{12} = 3{,}83$

on a donc (courbe 5) : $S_t = 0{,}240 \frac{0{,}283}{0{,}265} = 0{,}256$

On a donc :

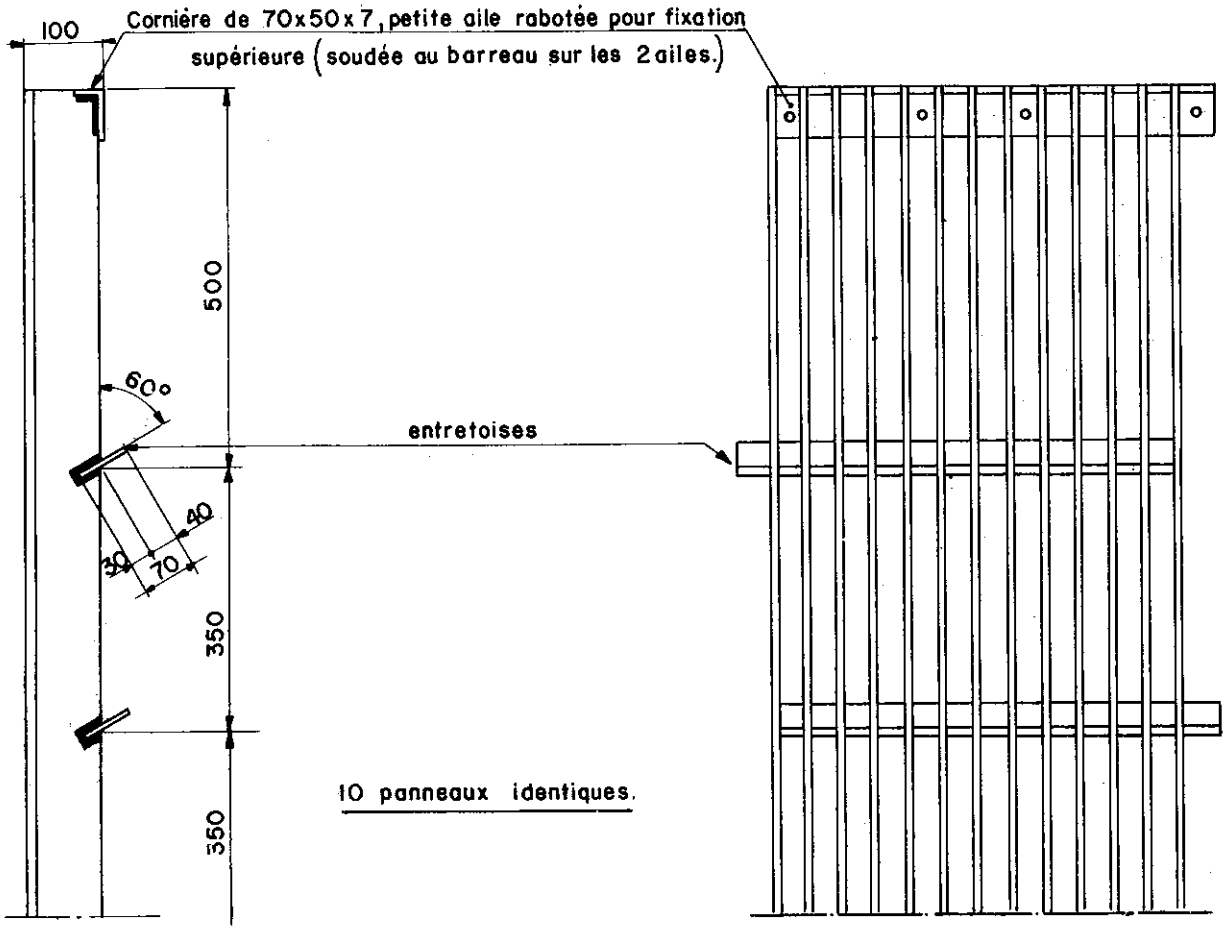
$$\varphi_o = \frac{0{,}256}{1{,}2} \times 60 = 12{,}8 \text{ Hz}$$

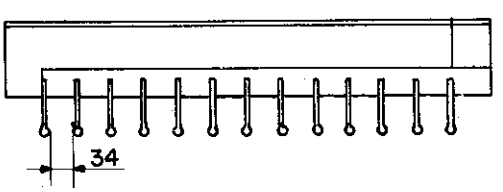
ce qui donne bien : $f_o > \varphi_o$.

6.3.3. Nous adoptons des entretoises soudées en fer plat de 70 x 8 placées horizontalement tous les 350 mm.

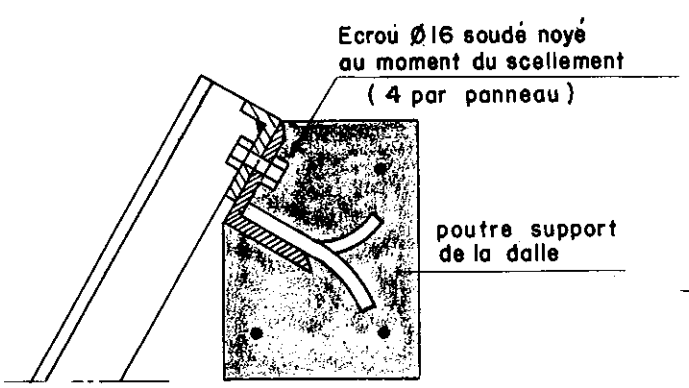
Il y aura : $\frac{600}{46} - 1 \cong 130$ barreaux.

soit 10 panneaux identiques de 13 barreaux encastrés en bas dans un profilé et vissés en haut sur un autre (voir dessin page 38).

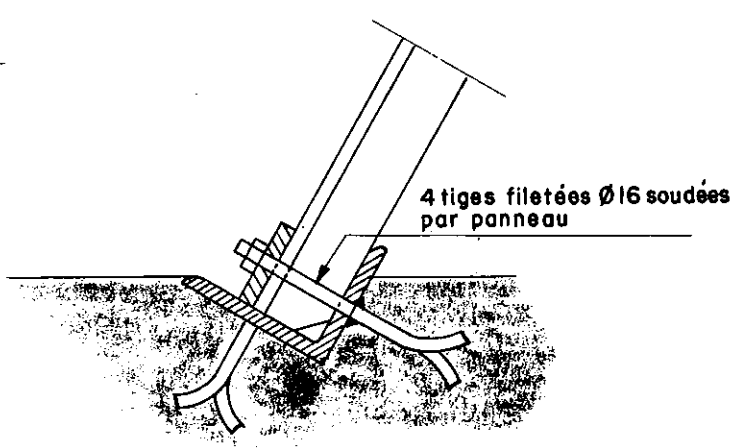




Fixation supérieure



Fixation inférieure



La dernière entretoise vers le haut sera constituée par une cornière de 70 x 50 x 8 dont la petite aile aura été rabotée pour être dans le prolongement des autres entretoises. Les deux ailes de la cornière seront soudées aux deux faces du barreau afin que la soudure puisse transmettre la réaction aux boulons de fixation en cas de déformation élastique des barreaux. Pour ne pas gêner le dégrilleur, la petite aile de la cornière pourra être logée dans une encoche du barreau.

6.3.4. Boulons de fixation.

Les boulons de fixation doivent être capables de résister en traction aux réactions d'appui. Pour que l'hypothèse de l'encastrement soit justifiée il faut que leur allongement soit négligeable

Soit R_B = 2200 N et R_A = 960 N par barreau

Avec un acier de visserie ordinaire genre A 50, nous mettrons 4 tiges filetées de Ø 16 mm par panneau en bas.

De même, à la partie supérieure, nous mettrons, bien que la réaction soit plus faible, 4 boulons de Ø 16 mm par panneau.

6.4. Perte de charge.

La formule de THOMA donne en prenant K = 2,42 :

$$h = 2{,}42 \left(\frac{0{,}8}{3{,}9}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{0{,}25}{2 \times 9{,}81}$$

$$= 0{,}292 \times 0{,}0127 = 0{,}00375 \cong 0{,}37 \text{ cm}$$

ce qui est très faible.

Avec la formule d'ESCANDE, on trouve en prenant pour :

$\frac{d}{t} = \frac{39}{8} \cong 4{,}9$; $m = 0{,}75$; $k = \frac{39}{47} = 0{,}83$

$$h = 0{,}0127 \times \frac{1}{0{,}69} \left[\left(\frac{0{,}25}{0{,}75}\right)^2 + \overline{0{,}17}^2\right]$$

$$= 0{,}0127 \times 0{,}203 \cong 0{,}00258 = 0{,}258 \text{ cm}$$

La perte de charge dans les grilles propres est négligeable.

7 - EXEMPLE DE REALISATION D'UN PANNEAU DE GRILLE TEL QUE CELUI REPRESENTE PAGE 38.

Le soudage des barreaux sur les entretoises en peigne va provoquer une déformation des barreaux qui auront tendance à se mettre en arc à convexité vers l'amont, tandis que les entretoises se déformeront de la même manière, mais en sens inverse. Il faudra donc brider l'ensemble pendant la soudure et procéder ensuite, si nécessaire, à un recuit.

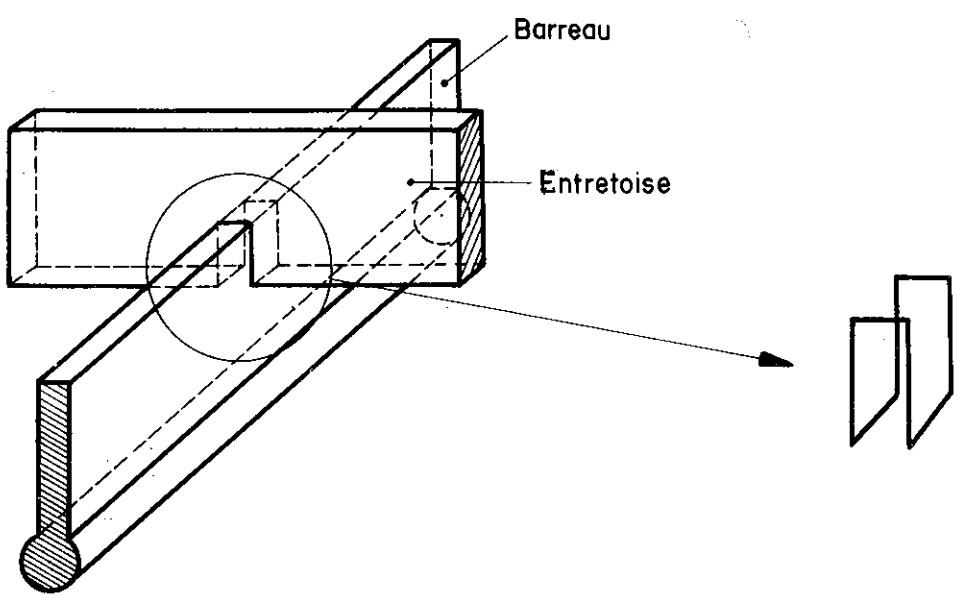
D'autre part, les soudures seront faites de manière à obtenir un cordon régulier et homogène favorisant une bonne tenue à la corrosion et évitant les caniveaux et cratères, amorces possibles de fissures de fatigue.

On pourra procéder de la manière suivante :

7.1. Assembler le panneau en disposant les barreaux horizontalement, face amont sur le sol, les entretoises étant engagées à la place qu'elles doivent occuper sur la grille terminée.

7.2. Brider l'ensemble ainsi constitué sur un châssis rigide constitué par exemple par deux gros U PN parallèles aux barreaux en plaçant en face de chaque entretoise de la grille et parallèlement à elle un fer s'appuyant sur les U P N pour empêcher la grille de se déformer lors du soudage. Pour éviter que les barreaux se voilent, il serait bon également de les serrer entre eux au niveau de chaque entretoise ; ceci peut être obtenu, par exemple, à l'aide de pièces d'épaisseur égale à l'écartement des barreaux, disposées entre les barreaux et serrées entre elles et avec les barreaux par des écrous montés sur une tige filetée de longueur égale à la largeur du panneau.

Sur la figure ci-dessous est représentée l'intersection d'un barreau et d'une entretoise dans la position qu'elle occupe sur le montage ; le plan de l'entretoise peut faire avec le chant du barreau un angle différent de 90° si la grille n'est pas verticale et si l'on veut que les entretoises soient horizontales.



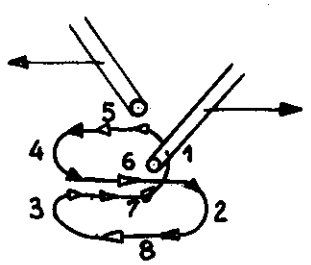
A droite est représentée la ligne d'intersection le long de laquelle on doit souder.

7.3. La grille étant dans la position horizontale comme indiqué plus avant, on soude d'abord les arêtes marquées 1 et 2 dans le sens indiqué par les flèches en commençant chaque soudure avant la partie horizontale pour la terminer un peu après. On exécute à la suite toutes les soudures 1 et 2 de chaque entretoise avant de passer à l'entretoise suivante.

7.4. On retourne ensuite le montage et on exécute les soudures 3 et 4 dans le sens indiqué par les flèches en procédant comme pour les soudures 1 et 2 en ce qui concerne les points de départ et d'arrêt des soudures. De même, on exécute à la suite toutes les soudures 3 et 4 sur chaque entretoise.

7.5. La grille toujours bridée sur son châssis est alors disposée de manière à ce que les entretoises aient leurs grandes faces horizontales (ce qui revient à placer la grille dans sa position normale). Il est commode, si la grille est assez haute, de disposer d'une fosse.

On procède alors dans le sens indiqué par les flèches aux soudures 5 et 6 exécutées si possible simultanément par 2 opérateurs différents, ceci comme pour les autres soudures en soudant à la suite tous les cordons 5 et 6 d'une même entretoise.



7.6. On retourne ensuite le montage de 180° autour d'un axe horizontal et on procède à l'exécution des soudures 7 et 8, toujours suivant le même processus.

7.7. Les soudures terminées, il est probable que, si on lâchait le bridage, l'ensemble se déformerait suivant deux directions perpendiculaires.

Pour éviter ou rattraper cette déformation, on peut procéder de plusieurs manières :

- martelage de chaque cordon après dépôt,
- relaxation du panneau bridé sur son châssis vers 600 - 650° C :
  - montée en température $\leq$ 200°/heure,
  - maintien à 600 - 650 $\sim$ 20 à 30 minutes suivant épaisseur,
  - descente de température : 150 à 300°/heure jusqu'à 300°,
- chaudes de retrait en face des soudures : délicat,
- redressage mécanique à la presse après débridage.

On peut également prédéformer les pièces en sens inverse et souder sans brider, mais ceci exige d'avoir fait au moins une pièce d'essai grandeur nature, pièce qu'on est contraint de redresser mécaniquement pour l'utiliser. En outre, il est très difficile de déformer un fer plat sur chant sans le voiler.

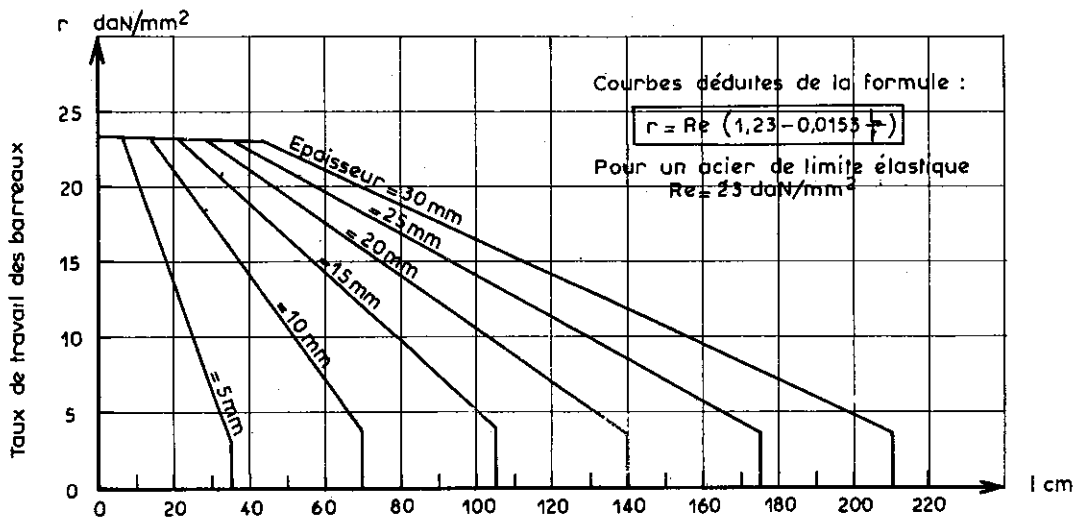
Avant de commencer la soudure des panneaux, il est bon de faire exécuter au soudeur un essai sur un petit élément spécial non bridé. Ceci lui permet de se faire la main, renseigne sur les déformations et aide à réaliser un bridage mieux approprié.

B I B L I O G R A P H I E

- L. CASTEX (Laboratoire d'Hydraulique de Toulouse) "Etude de la vibration des barreaux de grille sous l'influence des tourbillons alternés".
- L. ESCANDE "Compléments d'hydraulique", 1ère partie (éditeur E. PRIVAT, Toulouse 1947)
- G. LEMASSON et L. BLAIN "Matériaux de construction mécanique et électrique (DUNOD)
- L. LEVIN (S.F.A.C.) "Etude hydraulique des grilles de prise d'eau"
- A. et C. NACHTERGAL "Aide-mémoire de résistance des matériaux" (DESFORGES)
- M. PELOU "Nomenclature de la technique des métaux" (Editions Science et Industrie)
- M.P./G.J. Df 211 (S.P.H.) "Considérations sur le choix des charges de calcul des grilles de prise d'eau"
- M. VARLET "Usines hydrauliques" - "Usines de dérivation T. 1" (EYROLLES)
- Th. ZOWSKI (Water Power, Septembre 1960 et Octobre 1960) : "Grilles et Dégrilleurs".

FIGURES

ESPACEMENT MAXIMUM DES LIGNES D'ENTRETOISES

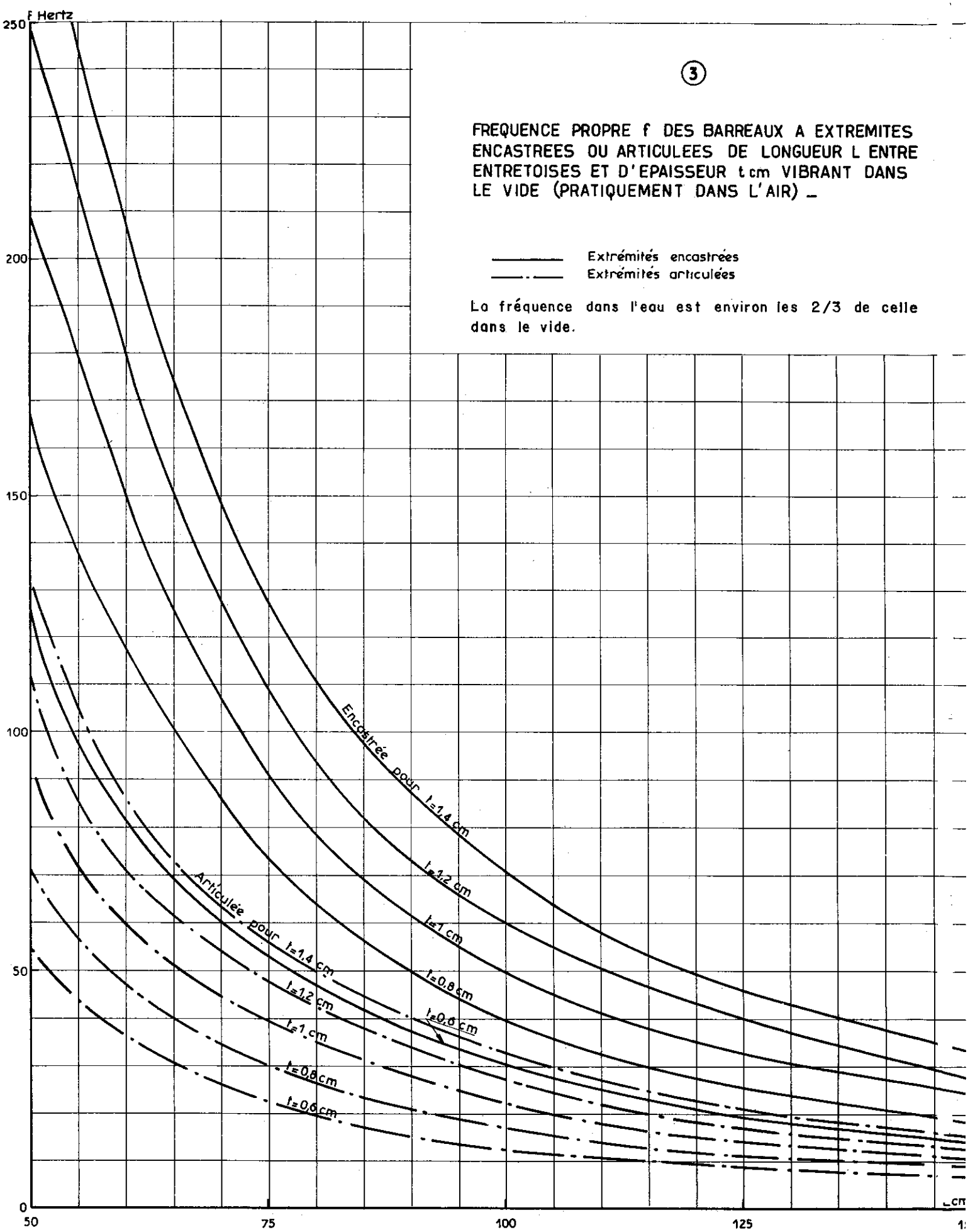


①

FREQUENCE PROPRE DES BARREAUX = VALEURS DE M

Harmonique		Fondamentale	1	2	3	4
	Extrémités encastrées	3,56	9,8	19,3	31,8	47,5
	articulées	1,57	6,28	14,13	25,1	39,25

②



③

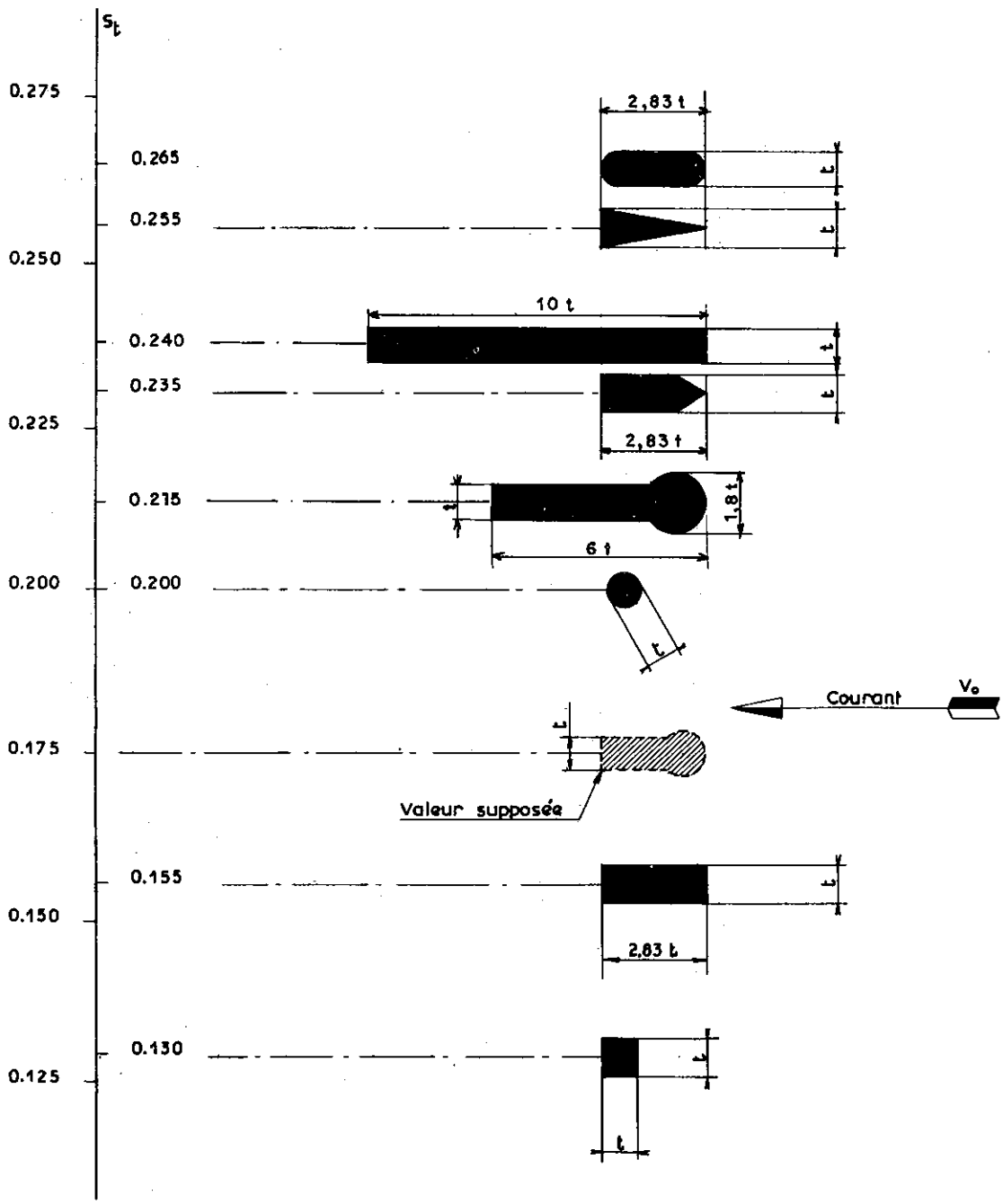
FREQUENCE PROPRE f DES BARREAUX A EXTREMITES ENCASTREES OU ARTICULEES DE LONGUEUR L ENTRE ENTRETOISES ET D'EPAISSEUR t cm VIBRANT DANS LE VIDE (PRATIQUEMENT DANS L'AIR) _

——— Extrémités encastrées
——.—— Extrémités articulées

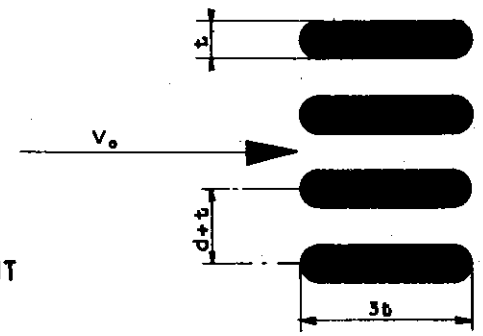
La fréquence dans l'eau est environ les 2/3 de celle dans le vide.

VALEUR LIMITE DU NOMBRE DE STROUHAL EN FONCTION DE LA FORME DE L'OBSTACLE

(d'après TESSIE-SOLIER .)

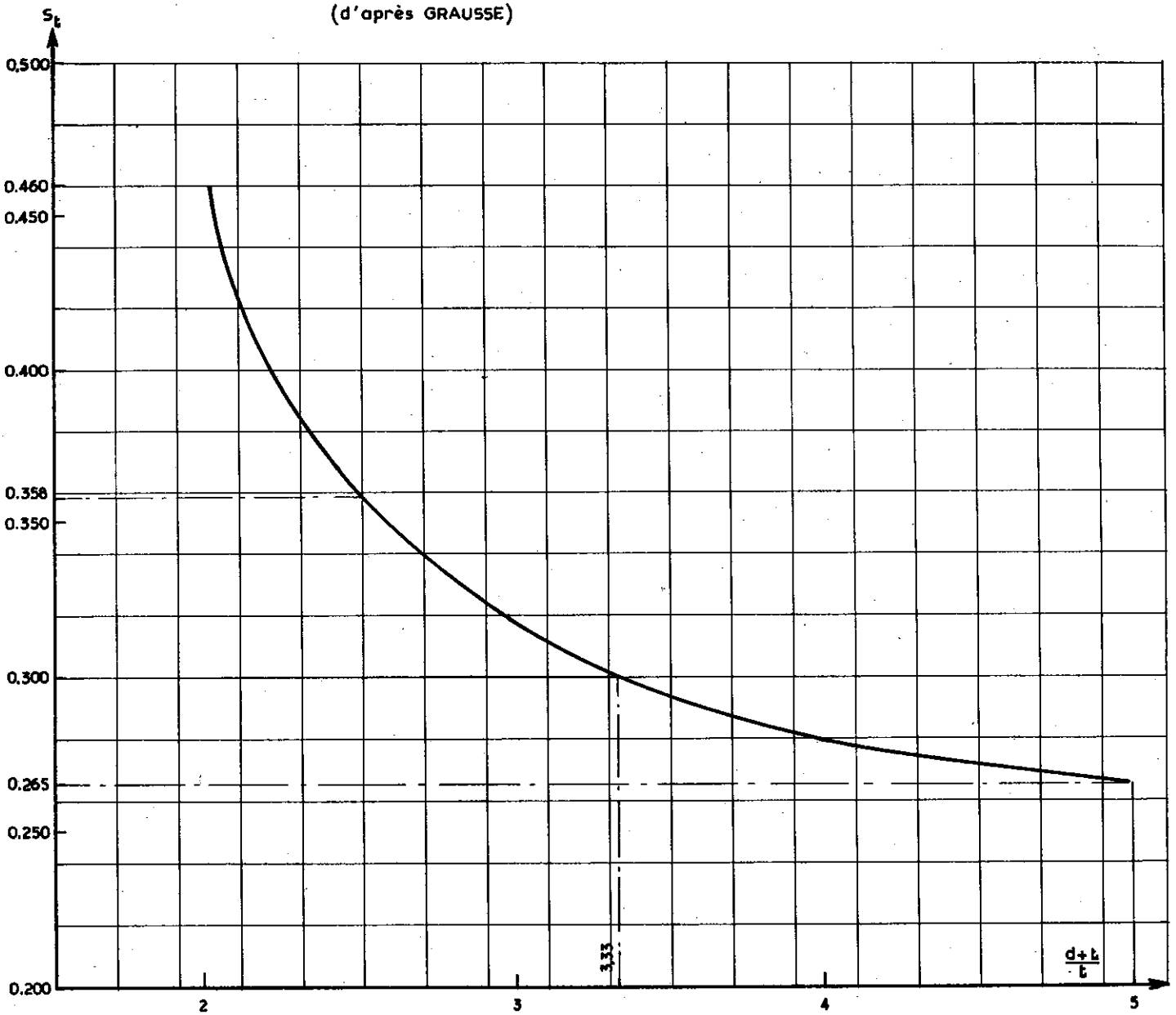


④

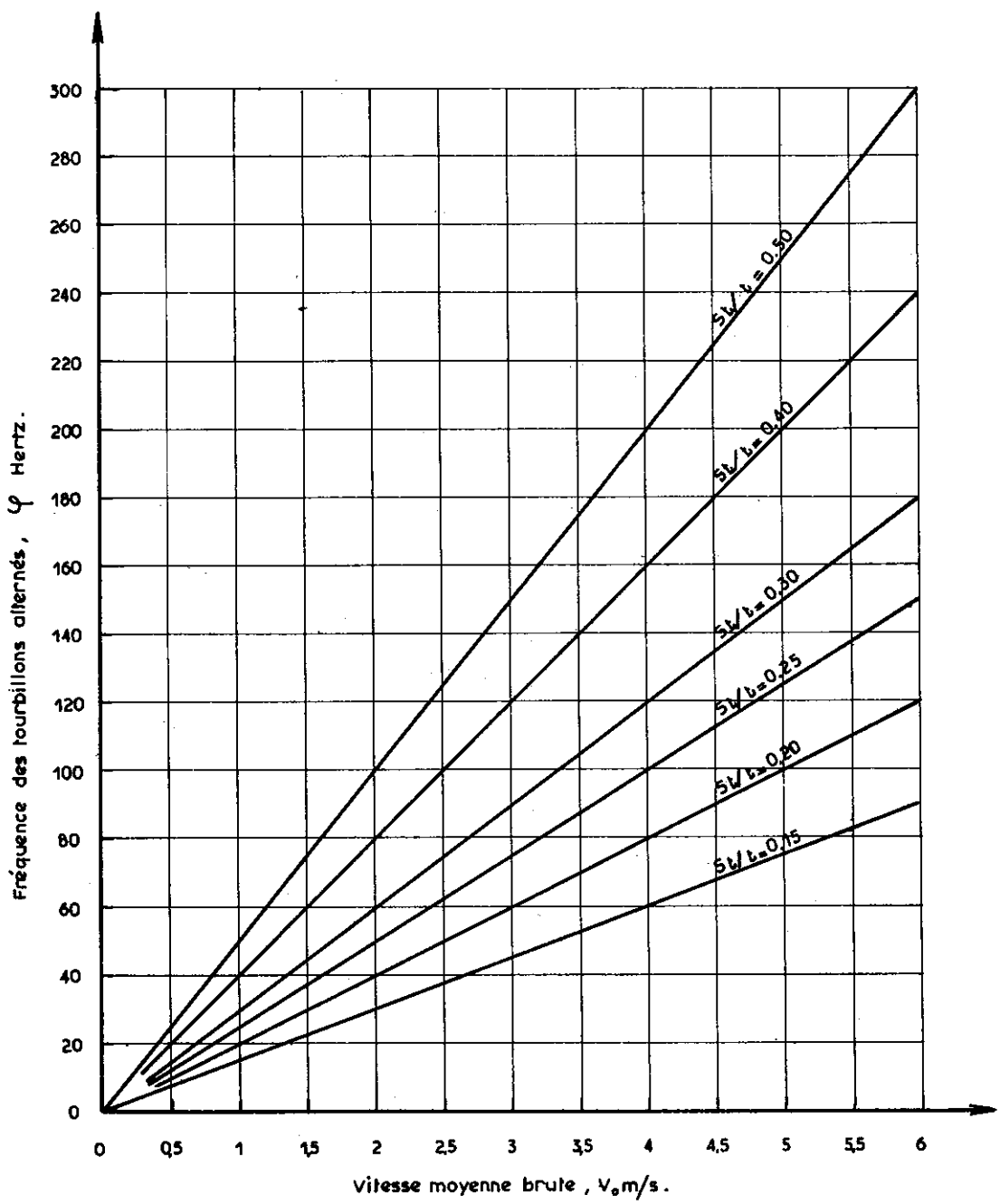


VALEUR DE S_t EN FONCTION DE L'ECARTEMENT RELATIF DES BARREAUX $\frac{d+t}{t}$

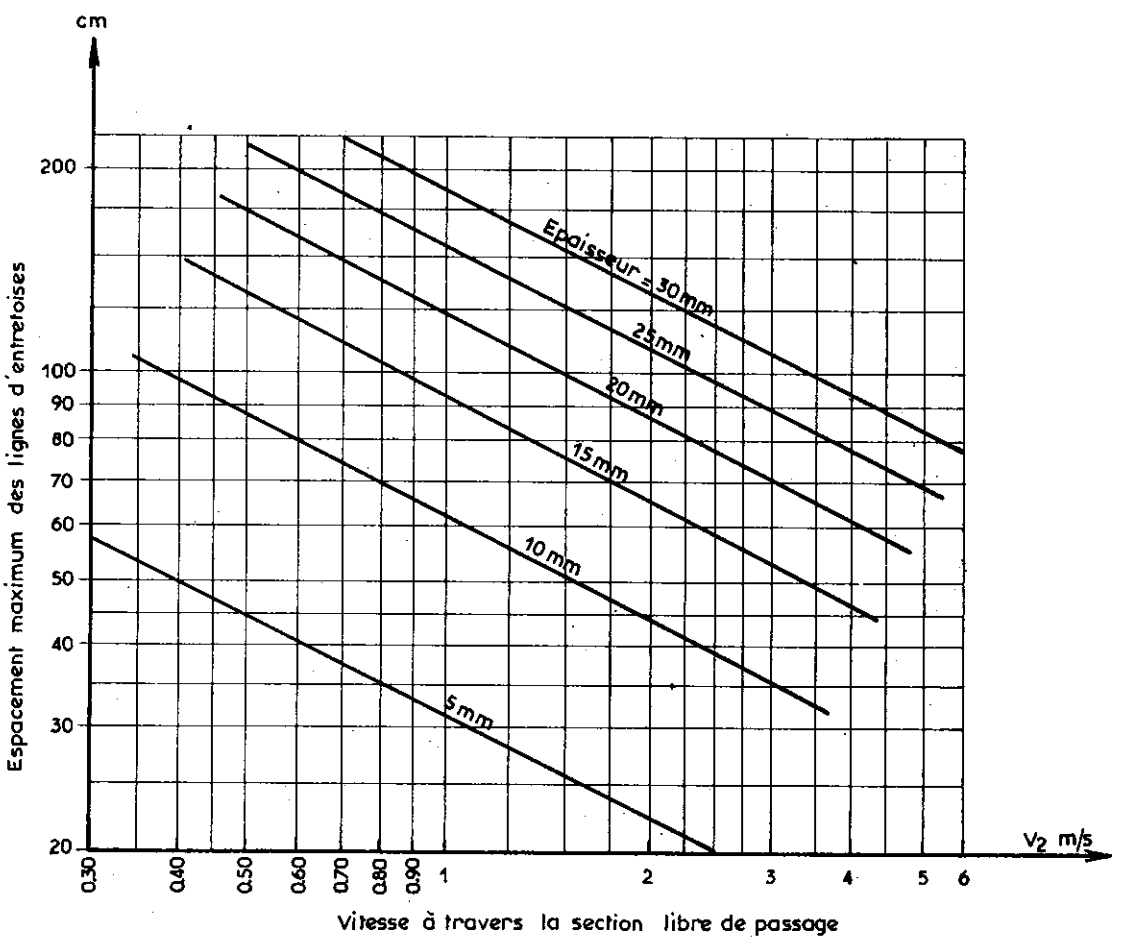
(d'après GRAUSSE)



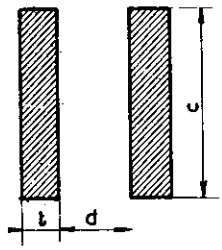
FREQUENCE DES TOURBILLONS ALTERNES EN FONCTION DE LA VITESSE DU COURANT POUR DIFFERENTS S_t/t (t est exprimé en cm)



ESPACEMENT DES ENTRETOISES



PROFIL N° 1



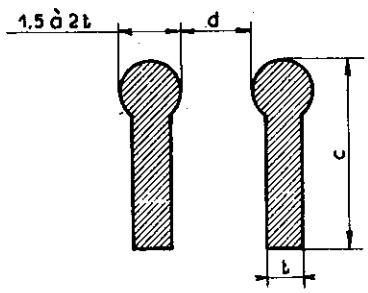
$$\frac{I}{V} = \frac{tc^2}{6}$$

THOMA-KIRSCHMER K = 2,42 pour $\frac{c}{t} \geqslant 5$

ESCANDE m = 0,6 pour $\frac{d}{t}$ = 1 à m = 0,86 pour $\frac{d}{t}$ = 11 (Courbe ⑨)

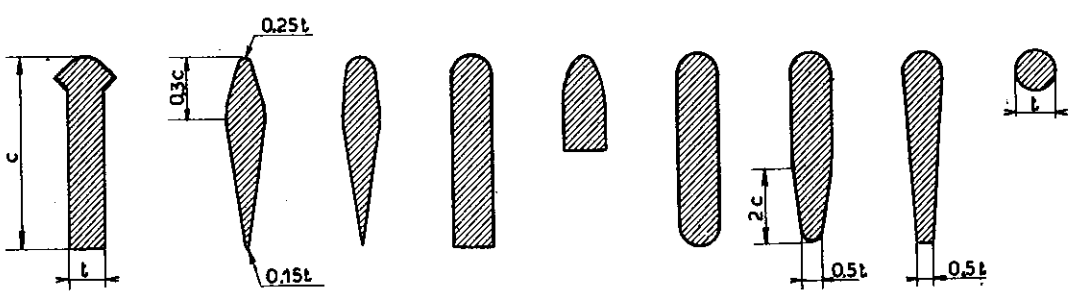
$\rho = \sqrt{\frac{I_o}{A}} = 0{,}2887\ t$ – S_t : voir courbes ④ et ⑤ – φ courbe ⑥

PROFIL N° 2



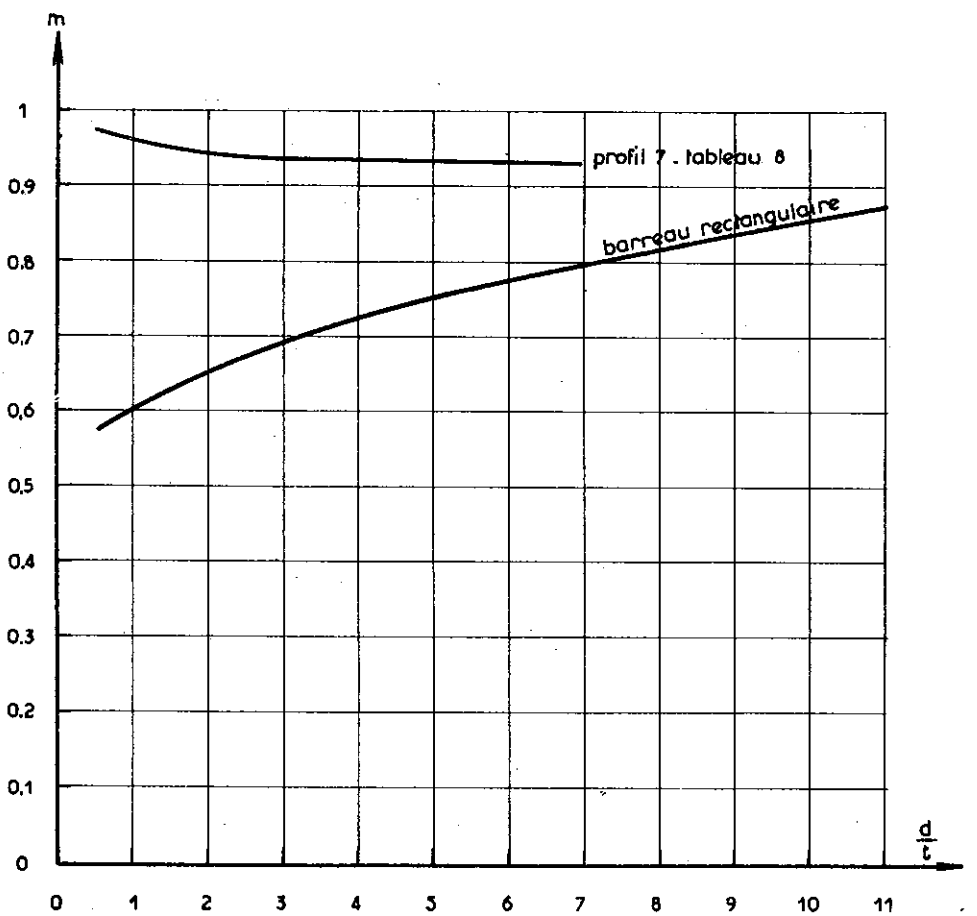
Prendre $\frac{I}{V} = \frac{tc^2}{6}$ comme profil N° 1

Pour ce profil il n'y a pas eu d'expérimentation ; ni pour les coefficients de pertes de charge, ni pour le nombre de STROUHAL. En général la dimension du boudin est telle qu'on peut, dans les calculs de perte de charge et de fréquence propre, assimiler ce barreau au barreau rectangulaire de même épaisseur et même hauteur. Pour le calcul de la fréquence des tourbillons, voir page .

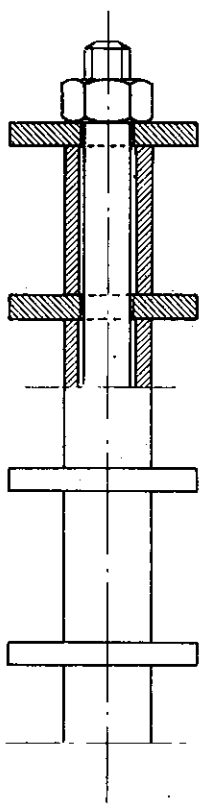


PROFILS N°	3	4	5	6	7	8	9	10	11
THOMA et KIRSCHMER K	0,76			1,83		1,67	1,035	0,92	1,79
ESCANDE m				∿0,96					

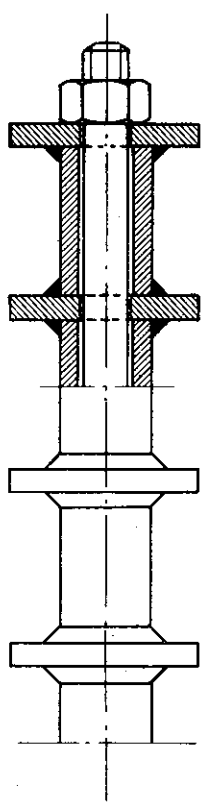
ESCANDE
Valeur de m



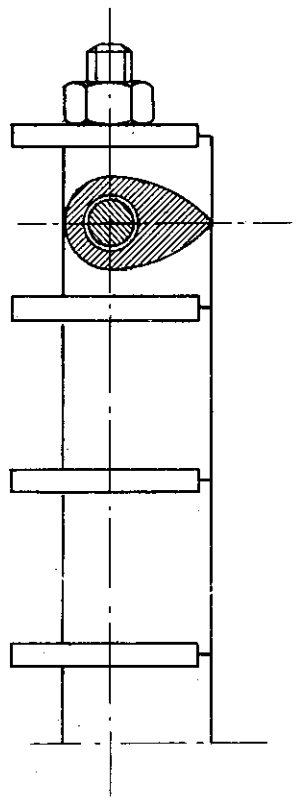
Variation de m en fonction de $\frac{d}{t}$.



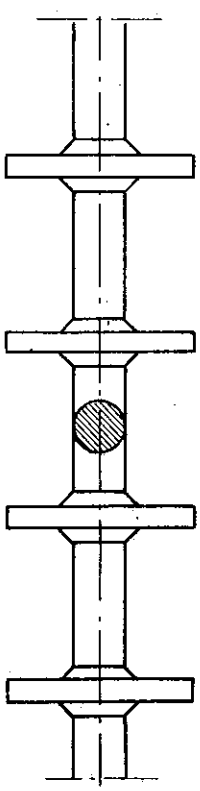
10



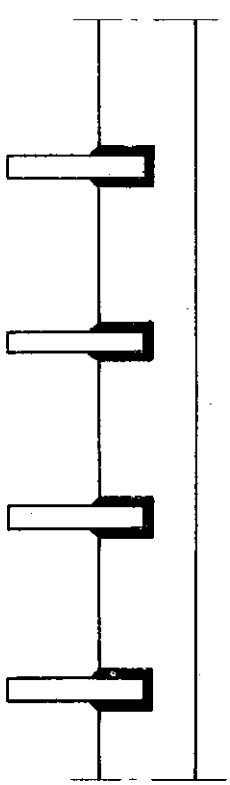
11



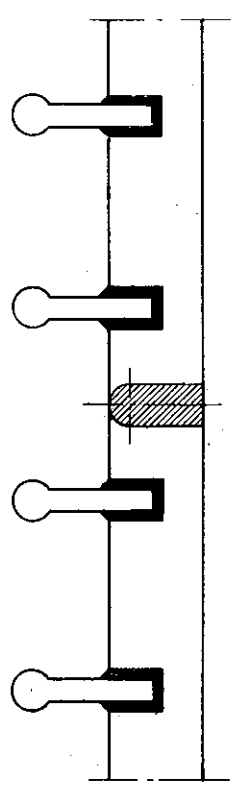
12



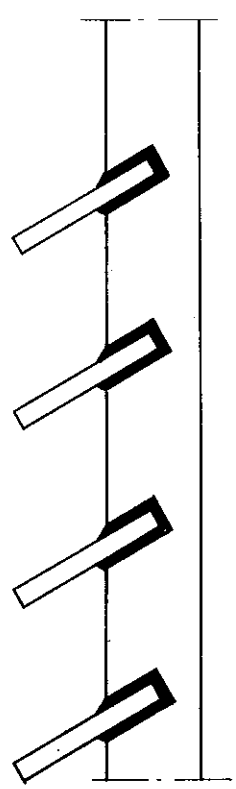
13



14

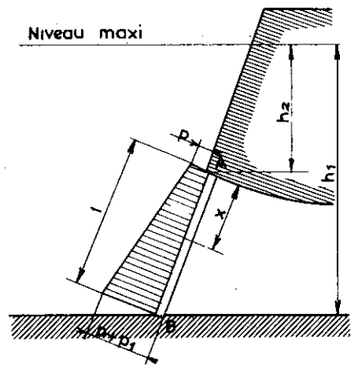
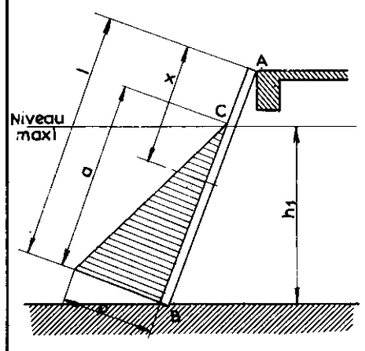
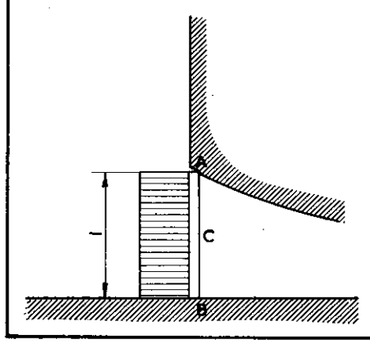


15



16

Calcul du moment fléchissant dans les différents cas de charge

CHARGE	BARREAUX ENCASTRES	BARREAUX POSES
OBSTRUCTION TOTALE	h_1 est la hauteur d'eau en mètres sur le seuil – h_2, la hauteur d'eau au-dessus du plafond de la galerie — $TT = d+t$, le pas des grilles en cm on a $p+p_1 = \frac{TT h_1}{10}$ kg/cm $= 10\,TT\,h_1$ kg/m $\qquad p = \frac{TT\,h_2}{10}$ kg/cm $= 10\,TT\,h_2$ kg/m	
	$\mathcal{M}_x = R_A x - \left(\frac{p}{12}+\frac{p_1}{30}\right)l^2 - \frac{x^2}{6}\left(3p+\frac{p_1 x}{l}\right)$ $R_A = \frac{pl}{2}+\frac{3p_1 l}{20}$ $\qquad \mathcal{M}_A = -\left(\frac{p}{12}+\frac{p_1}{30}\right)l^2$ $R_B = \frac{pl}{2}+\frac{7p_1 l}{20}$ $\qquad \mathcal{M}_B = -\left(\frac{p}{12}+\frac{p_1}{20}\right)l^2$ Le maximum de $\mathcal{M}_x$ entre C et D a lieu pour $x_m = \frac{l}{p_1}\sqrt{p^2+pp_1+\frac{3p_1^2}{10}}-\frac{pl}{p_1}$ et $\mathcal{M}$ est maximum en B	$\mathcal{M}_x = \frac{1}{6}(p_1+3p)x - p\frac{x^2}{2} - \frac{p_1}{6l}x^3$ $R_A = \frac{l}{6}(3p+p_1)$ $R_B = \frac{l}{6}(3p+2p_1)$ $\mathcal{M}_x$ est maximum pour $x_m = -\frac{3pl+l\sqrt{3[p^2+(p_1+p)^2+p(p_1+p)]}}{3p_1}$
	Si la charge ne dépasse pas le haut de la grille il suffit de faire $p=0$	
OBSTRUCTION TOTALE	$p_1 = 10\,TT\,h_1$ kg/m	
	$\mathcal{M}_x = R_A x - \frac{p_1 a^3}{60l^2}(5l-3a) - \frac{p_1(x-l+a)^3}{6a}$ $R_A = \frac{p_1 a^3}{20l^3}(5l-2a)$ $\qquad \mathcal{M}_A = -\frac{p_1 a^3}{60l^2}(5l-3a)$ $R_B = \frac{p_1 a}{2} - \frac{p_1 a^3}{20l^3}(5l-2a)$ $\qquad \mathcal{M}_B = -\frac{p_1 a^2}{60l^2}(10l^2-10al+3a^2)$ Le maximum de $\mathcal{M}_x$ entre D et E a lieu pour $x_m = l-a+\frac{a^2}{l}\sqrt{\frac{5l-2a}{10l}}$ et $\mathcal{M}$ est maximum en B	$\mathcal{M}_x = \frac{p_1 a}{2l}\left(1-\frac{a}{3}\right)(l-x) - \frac{p_1}{2}(l-x)^2 + p_1\frac{(l-x)^3}{6a}$ $R_A = \frac{p_1 a}{2} - \frac{p_1 a}{2l}\left(l-\frac{a}{3}\right)$ $R_B = \frac{p_1 a}{2l}\left(l-\frac{a}{3}\right)$ $\mathcal{M}_x$ est maximum pour $x_m = a\left(1-\sqrt{\frac{a}{3l}}\right)$
OBSTRUCTION PARTIELLE	$p_1 = p = 10\,TT\,h$ kg/m, h étant une charge supposée constante sur toute la grille	
	$\mathcal{M}$ est maximum en A et B $\mathcal{M}_A = \mathcal{M}_B = -\frac{pl^2}{12} = -\frac{Cl}{12}$ avec $C=pl$ au milieu : $\mathcal{M}_C = \frac{Cl}{24}$ $R_A = R_B = \frac{pl}{2} = \frac{C}{2}$ $\mathcal{M}=0$ pour $x=0,211\,l$	$\mathcal{M}$ est maximum en C milieu de AB $\mathcal{M}_C = \frac{pl^2}{8} = \frac{Cl}{8}$

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 7

PRECONIZACIONES PARA EL REVESTIMIENTO ANTICORROSION

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tel. 764.22.22
Telex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

1ere PARTIE

TEXTE

ANEXO 7

REVESTIMIENTOS ANTICORROSION

GENERALIDADES

PREPARACION DE LAS SUPERFICIES

Las superficies se deberán tratar de conformidad con las prescripciones correspondientes a la norma HN 20.S.50.

Se procede a la limpieza de las superficies metálicas por proyección de granalla o proyección de abrasivos en caso de que las condiciones locales no permitan instalar un sistema de proyección de granalla e incluso, excepcionalmente, por cepillado mecánico, según el estado de superficie requerido.

- Decapado por proyección de abrasivos

Los abrasivos minerales deberán guardar compatibilidad con las disposiciones del decreto nº 69 558 del 6 de junio de 1969, que constituye un reglamento de administración pública por lo que se refiere a las medidas particulares de protección de los trabajadores (Diario Oficial de Francia del 11 de junio de 1969).

El grado de limpieza por granalla o por proyección de abrasivos queda fijado por las fotografías patrón del documento del "Office National d'Homologation des Garanties de Pinture Industrielle" (Servicio Nacional de Homologación de Garantías de Pintura Industrial). El grado que se solicita con mayor frecuencia corresponde al "Ds 2,5". El grado "Ds 3" se exige para las superficies destinadas a la metalización o a la aplicación de productos cuya adherencia requiere las mismas precauciones. La rugosidad necesaria para una correcta adherencia deberá ser comparable a aquélla del patrón nº 18 del Rugotest nº 3 del Laboratorio Central de Armamento (Francia). En las superficies preparadas dejando totalmente al descubierto el metal o el material, es preciso tener en cuenta la eliminación del polvo y la aplicación inmediata de la metalización, del tratamiento o de la capa de primario de revestimiento.

Para las aplicaciones en obra, la superficie al decubierto no deberá, en ningún caso, permanecer más de dos horas al aire libre antes de recibir la primera capa de revestimiento.

Materiales utilizados para el granallado y la proyección de abrasivos: de no figurar una mención precisa en el contrato, la opción de los materiales se efectúa de conformidad con las indicaciones de la tabla I, página 7 de la norma HN 20.S.50.

Para los tubos y conductos, y en caso de no poder recurrir a la proyección de abrasivo, se puede emplear:

- Decapado denominado mecánico por medio de máquinas de decapar. El Ds 2 se recomienda tras eliminación total de los óxidos y de la cascarilla o carbonilla.

- Decapado por agua a presión

  Recomendación idéntica que para el caso anterior. Presión: de unos 400 bares, aproximadamente.

- Decapado por sistema autopropulsado:

  (Tipo REINHART) recomendaciones idénticas al caso anterior. La ventaja principal de este sistema consiste en su rapidez de ejecución (en ARTIGUES, el conducto de 1.250 m se ha podido decapar en 13 minutos). Además del trabajo "efectivo", cabe añadir ciertas sujeciones que pueden evaluarse en una semana suplementaria (adaptación de la máquina al conducto y desmontaje frecuentemente necesario de las válvulas de cabeza y de la base del conducto, por introducción y recuperación de la máquina en dicho conducto).

TRATAMIENTO DE LAS SUPERFICIES

Tras la preparación de las superficies, ya sea por metalización u otro procedimiento, o bien por la aplicación de una capa de primario adecuada al género de la superficie metálica.

Por metalización

En general, se trata de una metalización por Zinc o por Zinc-Aluminio (85% Zn, 15% Alu) que se lleva a cabo con pistola metalizadora según las instrucciones correspondientes a la norma NF A 91 201.

Después de la metalización, es obligatorio proceder a obturar los poros. Esta obturación se habrá de efectuar generalmente por medio de un primario inhibidor de corrosión que se aplicará con una temperatura de superior o equivalente a 10 ºC.

Por aplicación de una capa de primario:

De calidad determianda según la superficie metálica que se trata de proteger, la exposición de la misma y el tipo de revestimiento adoptado.

EJECUCION DE LA PROTECCION

Tras la aplicación de la capa de primario, proceder a la aplicación del revestimiento. La higrometría no debe ser nunca superior a 80%. Verificar la temperatura ambiente mínima de aplicación para cada tipo de pintura antes de su utilización.

La doctrina actual del S.P.H. por lo que se refiere a los productos es la siguiente:

Interior de las tuberías forzadas: brea de hulla epoxídica con o sin disolvente[1)].

1) El S.P.H. aconseja, en todos los casos en que sea posible, el empleo de pinturas sin disolvente. Es preciso tratar de utilizar productos que posean una duración de manejabilidad suficiente, ya que este tipo de pintura es de aplicación delicada. En la mayor parte de los casos, es preciso utilizar una máquina de dos componentes. En general, esta máquina es voluminosa, y sería preciso, para la pintura interior de las tuberías forzadas, introducirla en el interior del conducto, con objeto de obtener longitudes de tubo lo más reducidas posibles con objeto de eliminar las pérdidas de carga en la pistola mezcladora. Si la máquina permanece al exterior, su empleo queda limitado con motivo de la presencia de ciertas estructuras.

Exterior con tuberías forzadas: -Atmósfera rural: asfalto de petróleo - en caso de que se precise un color, pintura gliceroftálica

-Atmósfera industrial, agresiva brea de hulla epoxídica - en caso de que se precise un color, pintura caucho clorado.

- Equipos sumergidos en agua dulce:

  - no contaminada: metalización + brea de hulla

  - contaminada: metalización + brea de hulla epoxídica

- Equipos sumergidos en el agua del mar:

  - revestimiento idéntico pero con espesor reforzado

- Material semisumergido: metalización + brea de hulla epoxídica

- Equipos fuera del agua:

  - atmósfera rural: asfalto de petróleo - de ser necesario un color: pintura gliceroftálica

  - atmósfera industrial, agresiva: brea de hulla epoxídica - de ser necesario un color: pintura caucho clorado.

CONTROL DE PROTECCION

Conjuntamente con su respuesta a la licitación, la empresa que aplica la protección hará entrega de una ficha técnica del sistema de revestimiento preconizado (Anexo I).

Además deberá cumplimentar, durante y al final de las obras, la ficha de ejecución (Anexo 2).

SISTEMAS PRECONIZADOS POR EL S.P.H.

		Obras nuevas	Refacción total o parcial	
			Acero corroído	Acero no corroído
CONDUCTOS	TUBERIAS FORZADAS			
	Exterior			
	- Al aire libre, afmósfera no agresiva, rural o urbana, y en galería seca	TN1-TN2		
	- Al aire libre, atmosfera industrial, agresiva	TN11-TN3	RTC 1	RTC 2
	- En galería libre, medio sumamente húmedo	TN4-TN5-TN15		
	- Conductos enterrados	TN13-TN16		
	- Conductos hormigonados	sin revestimiento		
	Interior	TN7-TN8		
PARTES FUERA DEL AGUA	PORTICOS, ESTRUCTURAS METALICAS, GRUAS MOVILES, LIMPIADOR METALICO DE REJAS, TRANSFORMADORES			
	- Al aire libre, atmósfera rural	TN1-TN2	RTC 1	RTNC 1
	- Al aire libre, atmósfera urbana industrial, marítima, agresiva	TN3-TN11		
	- Al reguardo y en ausencia de humedad	TN1-TN2		
	EXTERIOR DE COMPUERTAS, TURBINAS, GENERADORES			
	- Al aire libre, atmósfera no agresiva, rural o urbana, y en galería seca	TN1-TN2		
	- Al aire libre, atmósfera agresiva, marítima	TN11-TN3	RTC 1	RTNC 1
	- Al resguardo	TN2-TN12		
ZONAS SUJETAS A VARIACIONES DE NIVEL	REJAS DE TOMAS DE AGUA, PUERTAS DE EXCLUSAS, COMPUERTAS Y VALVULAS DE SUPERFICIE, COMPUERTAS SEGMENTOS, ATAGUIAS, ETC.			
	- Sumergidas o semisumergidas en agua dulce			
	. contaminada	TN12	RTC 1	RTNC 1
	. no contaminada	TN10		
	- Sumergidas o semisumergidas en agua de mar	TN7-TN12		

		Obras nuevas	Refacción total o parcial	
			Acero corroído	Acero no corroído
EQUIPOS SUMERGIDOS	COMPUERTAS DE FONDO O DE DESCARGA, COMPUERTAS DE TOMA, INTERIOR; COMPUERTAS DE FONDO, DE CABEZA			
	- Sumergidas en agua dulce			
	. contaminada	TN12	RTC 1	RTNC 1
	. no contaminada	TN12		
	- Sumergidas en agua de mar	TN12-TN14		
	INTERIOR TURBINAS, CAJAS DE ESPIRAL	TN7-TN8-TN17-TN18 TN20		
	EXTERIOR GRUPOS DE PASO AXIAL TIPO BULBO	TN19		

SISTEMAS DE REVESTIMIENTOS PRECONIZADOS POR EL S.P.H.

Nº Sist.	Preparación de la superficie	Capa primaria	Revestimiento	Aplicación	Observaciones
TN1	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa de minio (esp ≥40 µm)	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, asfalto de petróleo (esp. total ≥300 µm)	por pistola airless recomendada	
TN2	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa de minio o cromato de zinc (esp. ≥40µm)	2 capas de pintura glicerofitálica (esp.total ≥120 µm)	por pistola airless recomendada	si se precisa color
TN3	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria de pintura de alto contenido en zinc (92% de Zn mínimo) o similar (esp. ≥40 µm)	3 capas de pintura caucho clorado (esp. total ≥180 µm)	por pistola airless recomendada	si se precisa color
TN4	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5		3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla (esp. total ≥ 450 µm)	por pistola airless recomendada	
TN5	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria de pintura de alto contenido en zinc (92% de Zn mínimo) o similar (esp. ≥40 µm)	3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla (esp. total ≥ 450 µm)	por pistola airless recomendada	
TN6	Decapado por proyección de abrasivos Ds 3	Metalización Zinc o Zinc-Alu 85/15 (esp. ≥ 120 µm) Tapaporos	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla (esp. total ≥300µm)	por pistola airless recomendada	
TN7	Decapado por proyección de abrasivos Ds 2,5	1 capa primaria de pintura de alto contenido en zinc (92% de Zn mínimo) o similar (esp. ≥ 40 µm)	2 ó 3 capas de pintura bituminosa, brea de hulla, epoxídica, con disolvente (esp. total ≥400µm)	por pistola airless recomendada	brea epoxídica:contenido en resinas epoxídicas en el aglomerante de un 40% en volumen

Tableau IV

	Concentrations dans l'huile en μ moles/litre.											
	Type d'analyse	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	C_3H_8	C_3H_6	C_3H_4	C_3H_4	CO	CO_2
Famille des 52 transformateurs considérée comme caractéristique du parc.	1	2,3 4	2 1,3	1,8 0,8	0,45 0,5	– –	3 1,8	1,2 1,3	– –	– –	– 54	60 280
	2	0,1	3,8	4,8	1	–	4,3	1,6	0,03	0,03	–	70
	3	2,2	1,6	0,75	0,36	–	1,4	2,5	–	–	18	370
Famille des 13 transformateurs contenant C_2H_2	1	15 2,5	6 3,1	3,1 2,2	4,3 1,7	4,1 0,23	2,8 2,5	2,7 5,4	0,5 0,12	0,32 0,14	31 22	260 460
Famille des 9 transformateurs restants	2	0,09	11	6,7	22	–	5,2	14	–	–	–	53
	3	0,9	11	12	11	–	8,3	10	0,17	0,53	–	290

N.B. – L'absence de chiffre dans une case signifie que la concentration était inférieure à la limite de sensibilité de l'analyse soit en général :
- Acétylène : C_2H_2 : 0,02 μ moles/litre
- Propadiène : C_3H_4 : "
- Propyne : C_3H_4 : "
- Oxyde de carbone : CO : 30 μ moles/litre.

3.2 – Transformateurs d'un réseau de transport – Le Tableau V se rapporte à 2 autres familles rassemblant divers transformateurs en service sur le réseau de transport d'Electricité de France et dont le comportement s'est avéré normal jusqu'à ce jour.

Elles sont constituées par :

– la première : 21 transformateurs 225 kV – 100 MVA munis d'un changeur de prise en charge dont la conception (communication par les conservateurs en particulier) et les imperfections de réalisation permettent plus ou moins au gaz formé dans le compartiment des contacteurs de diffuser dans l'huile de la partie active.

– la deuxième : 12 transformateurs sans changeur de prises en charge ou avec cet appareil disposé dans une cuve séparée ne laissant aucune communication avec la cuve principale.

Le nombre insuffisant des appareils pris en compte restreint la signification des valeurs déterminées par la statistique, mais montre bien néanmoins un accroissement important des concentrations de l'hydrogène et des hydrocarbures dans le cas des transformateurs munis d'un changeur de prises en charge. Il faut toutefois noter à ce sujet que nos connaissances actuelles ne permettent pas de préciser dans quelle mesure exacte le fonctionnement du changeur de prises en est la cause.

On constatera par contre que, dans le cas des transformateurs dépourvus de changeur de prises en charge, les valeurs des concentrations se rapprochent assez de celles qui figurent dans le Tableau III.

4. EXAMEN DE QUELQUES CAS D'INCIDENTS EN SERVICE

Si l'analyse des gaz dissous dans l'huile d'un transformateur se propose d'appréhender les dégradations non détectables par les moyens habituels, elle est aussi utilisée pour caractériser, à posteriori, la cause et la nature d'un incident déclaré, le plus souvent à la suite de l'apparition de gaz au relais buchholz.

Dans ce qui suit, on examinera quelques exemples correspondant à des cas particuliers dans lesquels l'analyse des gaz dissous a pu être confrontée à l'examen de l'avarie qui en était la cause.

Tableau V

Concentrations dans des transformateurs d'un réseau de transport

Gaz	Transformateurs avec changeur de prises en charge (21)		Transformateurs sans chargeur de prises en charge (12)	
	Concentrations en μ moles/litres		Concentrations en μ moles/litres	
	Moyenne géométrique	Valeur qui n'est dépassée que par 10 p. cent des appareils	Moyenne géométrique	Valeur qui n'est dépassée que par 10 p. cent des appareils
H_2	5	10,5	1,5	6
CH_4	4	8	2	6
C_2H_6	4	12	1,5	7
C_2H_4	2	6,5	0,5	2
C_2H_2	4,5	15	$< 0,02$	$< 0,02$
C_3H_8	3	11	2,5	11,5
C_3H_6	1,5	5	1	2,5
C_3H_4	0,2	0,5	$< 0,02$	$< 0,02$
C_3H_4	0,2	0,6	$< 0,02$	$< 0,02$
CO	$\leqslant 30$	$\leqslant 30$	35	45
CO_2	81	190	235	470
O_2	195	440	170	360
N_2	2800	3350	2760	3160

N.B. – Le choix de la moyenne géométrique résulte du fait qu'elle s'introduit naturellement par la distribution log-normale puisqu'elle correspond à la moyenne arithmétique des logarithmes des concentrations.

Lorsqu'il se dégage des gaz au buchholz, il est toujours recommandé d'en faire l'analyse et d'en tenir compte pour établir le diagnostic final. La comparaison des concentrations de chaque gaz, dans la phase gazeuse et dans la phase liquide, permet souvent d'éviter des erreurs de diagnostic auxquelles on pourrait être conduit par l'examen des seuls gaz dissous.

Le Tableau VI montre les résultats d'analyses de prélèvements d'huile et de gaz effectués sur 2 transformateurs, après que les gaz dégagés au relais buchholz eurent entraîné une alarme.

On voit que, dans les 2 cas, les concentrations des différents gaz dissous dans l'huile ont des valeurs très voisines de celles qui correspondraient à l'équilibre avec la phase gazeuse. Cela peut être considéré comme l'indication qu'on se trouve en présence d'une dégradation lente, au cours de laquelle les gaz produits par le défaut se dissolvent et s'accumulent dans l'huile avant de se dégager au buchholz.

L'examen des parties actives de ces deux transformateurs a montré :

– dans le premier, l'absence de claquage mais la présence de décharges partielles de faible énergie qui avaient entraîné la formation de cire X.

– dans le second, l'existence d'un point chaud dû à une brasure défectueuse dans une connexion, point chaud qui avait provoqué la carbonisation des papiers de l'isolation contiguë.

Dans les exemples du Tableau VII il en va tout différemment.

Dans le bas de la cuve du transformateur n° 3, les concentrations de H_2, CH_4, C_2H_2 et CO sont très inférieures à ce qu'elles seraient à l'équilibre avec la phase gazeuse. Elles tendent à s'en rapprocher dans les prélèvements effectués au buchholz. Il en est de même mais seulement pour H_2, C_2H_2, et CO dans le cas du transformateur n° 4. Cela peut s'interpréter comme l'indice d'un phénomène qui provoque un dégagement important de gaz, lesquels atteignent rapidement le relais buchholz en se dissolvant plus ou moins dans l'huile, selon leur solubilité.

Le transformateur n°3 est un transformateur avec un changeur de prises en charge dont l'huile du commutateur peut communiquer avec celle de la cuve du transformateur et qui, 2 ans après sa mise en service, a manifesté des dégagements gazeux entraînant des alarmes buchholz. Comme on peut s'en rendre compte, l'analyse des gaz dissous permettait de diagnostiquer la présence d'arcs grêles dans l'huile.

Tableau VI

Gaz	Transformateur n° 1			Transformateur n° 2		
	Concentration dans l'huile prélevée en bas de cuve.	Concentration dans la phase gazeuse	Concentration dans l'huile en équilibre avec la phase gazeuse	Concentration dans l'huile prélevée en bas de cuve	Concentration dans la phase gazeuse	Concentration dans l'huile en équilibre avec la phase gazeuse
	Ci_1 $\mu_{m/L}$	Cg $\mu_{m/L}$	Ce $\mu_{m/L}$	Ci_1 $\mu_{m/L}$	Cg $\mu_{m/L}$	Ce $\mu_{m/L}$
H_2	1470	26339	1527	184	4598	266
CH_4	107	178	61	1210	3883	1328
C_2H_6	7	–	–	1720	848	1060
C_2H_4	–	–	–	1890	1205	2860
C_2H_2	–	–	–	5	3,6	13
CO	14	133	16	51	402	48
CO_2	25	45	37	653	803	674
N_2	1290	13390	1165	2160	29150	2530
O_2	700	4910	750	78	3750	573

Tableau VII

Gaz	Transformateur n° 3				Transformateur n° 4			
	Concentration dans l'huile prélevée en bas de cuve	Concentration dans l'huile prélevée au Buchholz	Concentration dans la phase gazeuse	Concentration dans l'huile en équilibre avec la phase gazeuse	Concentration dans l'huile prélevée en bas de cuve	Concentration dans l'huile prélevée au Buchholz	Concentration dans la phase gazeuse	Concentration dans l'huile en équilibre avec la phase gazeuse
	Ci_1 $\mu_{m/L}$	Ci_2 $\mu_{m/L}$	Cg $\mu_{m/L}$	Cie $\mu_{m/L}$	Ci_1 $\mu_{m/L}$	Ci_2 $\mu_{m/L}$	Cg $\mu_{m/L}$	Cie $\mu_{m/L}$
H_2	3,5	95	7860	455	18	–	2857	165
CH_4	0,9	0,45	26	8,8	8	–	18	6
C_2H_6	0,5	0,4	0,27	0,3	22	–	5,35	6,7
C_2H_4	0,58	0,36	0,22	0,5	10	–	4,5	10,6
C_2H_2	1,25	1,20	1,03	3,4	11	–	8	29
CO	–	–	55	6,6	≪	–	1094	131
CO_2	35	70	22,5	19	398	–	303	255
N_2	3310	3200	35714	3107	2430	–	39285	3417
O_2	29	89	611	93	175	–	1093	167

Il est apparu que le dégagement gazeux avait été provoqué par le desserrage d'un répartiteur de potentiel d'une traversée HT, entraînant l'apparition de décharges partielles et de petits arcs grêles qui avaient laissé des marques de cheminement sur une pièce de carton moulé isolant le répartiteur. A noter que dans ce cas, les résultats des analyses correspondaient parfaitement avec ceux d'analyses effectuées sur un appareil différent, mais équipé de traversées identiques qui avaient été affectées du même défaut. Les décisions concernant l'exploitation du transformateur avaient donc pu être prises de façon plus sûre.

Tout comme pour le transformateur précédent, l'analyse de l'huile du transformateur n° 4 a été effectuée après qu'un dégagement de gaz au relais buchholz eut entraîné une alarme. Elle conduisait à diagnostiquer des décharges partielles ou de petits arcs grêles dans l'huile.

Par contre, l'analyse des gaz recueillis au buchholz mettait en évidence que, malgré sa plus grande solubilité, l'acétylène était parvenu directement en quantité notable dans le relais buchholz, se distinguant ainsi des autres hydrocarbures. Cela pouvait être interprété comme la conséquence d'un arc intéressant une isolation cellulosique, vraisemblablement responsable du déclenchement de l'alarme.

On était donc conduit à diagnostiquer la présence de 2 phénomènes agissant simultanément : le premier à évolution lente, caractérisé surtout par les gaz dissous dans l'huile ; le second à évolution rapide et mettant en jeu une énergie plus grande, caractérisé surtout par les gaz recueillis au buchholz.

Le décuvage de l'appareil, qui est vieux de 10 ans, a montré un amorçage entre spires de l'enroulement HT, un échauffement localisé d'un anneau de champ avec de légers amorçages à la masse dans l'huile, un échauffement et une carbonisation d'un anneau de bois servant de calage aux enroulements dans une zone contiguë aux dégradations de la pièce précédente. Aucune liaison certaine n'a pu être établie entre l'amorçage des spires de l'enroulement HT et les dégâts des pièces d'extrémités.

On peut insister sur l'observation classique que, dans le cas de dégagement rapide de gaz au buchholz provoqué par un phénomène survenant intempestivement, l'analyse des gaz recueillis peut être plus caractéristique de ce défaut que l'analyse des gaz dissous dans l'huile, qui intègrent plutôt la vie moyenne de l'appareil.

Les exemples qui viennent d'être cités se rapportent à des appareils sur lesquels des décisions d'intervention ont été prises à la suite d'alarmes buchholz.

Il est toujours très délicat de décider d'une intervention importante sur un appareil à la seule vue des résultats d'une analyse de gaz dissous dans l'huile. Toutefois, cette prise de décision est facilitée quand, comme nous l'avons déjà dit, les informations apportées par l'analyse des gaz permettent de rattacher le cas présent à un ou à des cas déjà rencontrés. Des décisions d'intervention ont pu être prises dans ce contexte. On peut, en particulier, citer le cas d'un ensemble de six transformateurs monophasés dont l'un d'entre eux avait subi un incident grave (amorçage HT-BT avec explosion). L'analyse de l'huile prélevée aussitôt après l'incident indiquait deux défauts superposés, point chaud et défaut électrique affectant une isolation solide.

Ce diagnostic fut confirmé par l'autopsie qui a permis d'observer que le défaut provenait d'une connexion de mise au potentiel d'un anneau de champ HT, défaut qui avait d'abord échauffé l'isolant.

L'analyse de prélèvements effectués sur les 5 autres unités a montré l'évolution d'un défaut semblable. On a pris alors la décision de les réparer préventivement : leur démontage a permis de constater que ce même défaut existait à l'état latent sur ces appareils.

5. COMMENT LES INFORMATIONS PEUVENT CONDUIRE A UNE DECISION

5.1. – L'extension de la méthode a conduit certains esprits pragmatiques à penser que l'on était poussé à intervenir prématurément, voire à tort, sur des appareils.

Les exemples particuliers développés aux paragraphes 3 et 4 ci-dessus montrent que la chromatographie des gaz dissous dans l'huile des transformateurs permet :

– de suivre l'évolution d'un transformateur

– d'appréhender des types de dégradations non détectables par les moyens usuels (fonctionnement de protections buchholz – isolement ...).

– de caractériser le type d'anomalie affectant éventuellement un appareil

– en résumé, de mieux connaître les risques auxquels s'expose l'exploitant, pour le guider vers une décision plus objective.

5.2. – Des prélèvements réguliers, dont la fréquence dépend de la nature et de la gravité des anomalies éventuelles, permettent évidemment de voir comment évolue cette anomalie, ou plus généralement ce manque d'anomalie au sens de la conception habituelle. La méthode ne permet pas encore de tenir compte d'évolutions faibles, ni de bien connaître la corrélation entre la gravité des défauts et la vitesse d'évolution des concentrations de gaz, ni, de même, l'influence exacte du fonctionnement du régleur en charge à huile communicante dans le diagnostic de certains types de défauts. Mais on sait généralement :

a) si l'appareil est sain ou non par rapport à l'ensemble des appareils observés. Cette référence est même inutile lorsque les teneurs sont faibles (appareils sains) ou déjà élevées (défaut marquant non encore manifesté).

b) quelle est la nature de l'anomalie éventuelle

c) et, avec quelques précautions de diagnostic, quelle est la gravité du défaut par rapport aux appareils semblables ayant le même genre de résultats.

Cependant, il est actuellement impossible en général, ou hasardeux, de prédire la durée de vie avant la manifestation brutale de l'avarie par les moyens classiques auxquels l'exploitant se fiait. On ne peut pas non plus, par l'analyse chromatographique, localiser l'avarie et guider la recherche des parties endommagées qui ne sont pas toujours visibles après décuvage. Pour certains types de défauts (décharges partielles ou points chauds légers par exemple) ce doute sera le frein à une intervention précoce sur l'appareil.

5.3. – Les moyens de détection utilisés auparavant ne sensibilisaient qu'aux défauts qui provoquaient des gaz contenant des composants inflammables recueillis au niveau du relais buchholz, ou à des variations importantes de la tension disruptive de l'huile, de son acidité ou de sa coloration.

Les dégradations des parties actives ainsi détectées ne l'étaient qu'à un stade déjà avancé. De plus, on ne pouvait ni distinguer le type du défaut, donc guider une autopsie ou une réparation, ni savoir dans quelle mesure et de quelle façon l'isolant solide était touché ou non.

Dans le même ordre d'idées, il faut aussi noter que les moyens classiques ne permettent pas de savoir, dans le cas d'une huile anormale, si cette anomalie provient ou non des parties actives.

Enfin, il ne faut pas oublier non plus que lorsque l'isolant solide est détérioré, les produits de sa dégradation risquent de masquer la présence d'hydrocarbures, lorsqu'on les recherche rapidement sur place par l'inflammabilité d'un petit prélèvement de gaz.

5.4. – Pour conclure ce paragraphe, on peut dire que le diagnostic à partir de la chromatographie en phase gazeuse permet, par un seul prélèvement effectué sans perturber l'exploitation, d'atteindre globalement des éléments de jugement que l'exploitant ne savait pas recueillir autrement, ni si prématurément. Certes, l'abondance d'informations peut facilement conduire à des décisions trop hâtives. Mais mieux vaut connaître objectivement un risque latent : sa nature de façon satisfaisante, son évolution de façon suffisante, sa gravité de façon approchée, que de se voiler la face et courir inconsciemment à un incident grave. A l'aide d'une analyse globale, la méthode permet de prendre des décisions d'entretien ou de réparation préventifs en période acceptable, ou des mesures de surveillance accrue, d'examen ou d'essai spécifique judicieusement choisi. Selon l'intérêt que l'on accorde à la connaissance de l'état de santé des appareils, l'analyse des gaz dissous dans l'huile peut être effectuée systématiquement, comme surveillance sur l'ensemble du parc ou être limitée, pour des raisons économiques, aux transformateurs dont la défaillance subite créerait des perturbations d'exploitation mal supportables ainsi qu'à ceux placés dans des conditions d'environnement particulièrement délicates. Dans ce dernier cas, l'analyse est évidemment à étendre à tous les appareils d'une série, lorsque l'un d'eux est le siège d'un défaut de conception ou de fabrication.

6. CONCLUSION

L'intérêt des informations que peut apporter l'analyse des gaz dissous dans l'huile des transformateurs est aujourd'hui parfaitement reconnu.

L'aide qu'elles peuvent apporter à la surveillance et à la maintenance d'un parc de transformateurs est indéniable et de plus en plus recherchée.

Il reste encore à faire dans le domaine de l'interprétation des mesures, pour parvenir à des diagnostics très sûrs sur la nature des phénomènes responsables d'une dégradation, dans les cas complexes (défauts simultanés par exemple) ou si l'on veut appréhender les défauts avant qu'ils ne soient bien établis et bien typés.

La méthode d'interprétation utilisée en France, comme toutes les autres d'ailleurs, repose à la fois sur des bases théoriques et sur l'acquis de l'expérience quotidienne. En même temps que cette dernière s'enrichit, la méthode doit se préciser et accroître son efficacité.

Il faut noter, bien sûr, que parmi les cas difficiles à traiter aujourd'hui se situe toujours en bonne place celui des transformateurs avec changeur de prise en charge, dont le fonctionnement est nécessairement créateur de gaz, et dont les conséquences sur les concentrations en gaz dissous sont variables selon la possibilité laissée aux gaz de diffuser à l'extérieur du compartiment des contacteurs. Cette possibilité peut différer non seulement par la conception (communication par les conservateurs par exemple) mais aussi, et de façon aléatoire, suivant la réalisation d'un appareil à l'autre.

En ce qui concerne les applications pratiques de la méthode, il apparaît nécessaire de savoir tout d'abord caractériser la "normalité" pour un parc donné de transformateurs. La notion de "normalité" est importante pour la détection des appareils suspects qu'il convient de mettre en surveillance serrée. Elle peut, bien sûr, être appréciée en déterminant, par voie statistique, les valeurs de concentrations "normales", mais il semble qu'il soit aussi possible de préciser cette notion en recherchant si la majorité des transformateurs considérés n'appartiennent pas à une même famille, caractérisée par une analogie de la composition des gaz dissous dans l'huile de chacun d'eux, suffisante pour laisser présumer d'un même mécanisme de vieillissement.

L'utilisation des informations apportées par l'analyse des gaz dissous dans l'huile et aussi, chose très importante, celle de ceux qui parviennent au relais buchholz dans le cas d'un défaut déclaré, est de plus en plus recherchée pour guider les examens ou les interventions à prévoir. Il est néanmoins encore toujours assez exceptionnel que des interventions dans les parties actives soient entreprises (avant qu'un défaut ne se soit déclaré), à la seule vue des résultats d'une analyse de gaz dissous.

Il y a encore beaucoup à faire dans l'étude des relations entre la gravité d'un défaut et l'évolution des gaz dissous, avant d'être en mesure de déterminer sur des bases sûres le moment où un incident définitif se produira et il est certain que l'apport d'informations complémentaires et de nature différente doit être encouragé et recherché.

Dans cet ordre d'idées des tentatives sont faites pour, sur le site même, mesurer et localiser les décharges partielles. De telles mesures apparaissent comme un complément naturel des analyses de gaz dissous ; elles présentent des difficultés mais devraient se développer dans l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Commission Electrotechnique Internationale – Comité d'études n° 10 sous-comité 10 A (Bureau Central) 26.

[2] Thibault M. et Rabaud J. – "Application de l'analyse des gaz dissous à la maintenance des transformateurs", (Revue Générale d'Electricité t. 84 – N° 2 – Février 1975 – 81-90).

[3] CIGRE SC. 15 – GT. 15-01. – "Détection et recherche de caractéristiques d'un défaut latent à partir de l'analyse des gaz dissous dans l'huile d'une isolation". (Electra n° 42, Octobre 1975).

[4] Commission Electrotechnique Internationale. – Comité n° 10 – Sous-comité 10 A, 10 A (Secrétariat) 43.

[5] Barraclough B., Bayley E., Davies I., Robinson K., Rogers R.R. et Schanks C. – "CEGB Experience of the analysis of dissolved gas in transformer oil for the detection of incipients faults", (IEE Conference on Diagnostic testing of high voltage – Power Apparatus in service. Publication n° 94).

[6] Dornenburg E. – (Brown Boveri Mitteilungen – 54 – 1967 – 2/3 – 104-111).

DOCUMENTS DE REFERENCE

- Spécification S.P.H. N° 540 (Protection des matériels en acier contre les agents extérieurs)
- Cahier des charges pour travaux de revêtement N° 91.C.031.01, édition Mars 1982 (E.D.F., Direction de l'Equipement)
- Groupe de Liaison P.9 de la C.S.T. (Prévention de la corrosion en ambiances naturelles)(1)
- Norme H.N. 20.S.50 (Spécification Technique applicable à la préparation des surfaces ferreuses par projection d'abrasifs)
- Norme H.N. 20.M.62 (Protection des surfaces par métallisation au pistolet à l'aide de zinc, d'aluminium ou d'alliage zinc-alu)
- Norme NF.A.91.201 (Métallisation au pistolet)
- Norme NF.A.35.511 (Produits grenaillés et peints fabriqués de façon automatique)
- Norme NF.A.35.512 (Recommandations pour la mise en oeuvre des grenaillés prépeints)
- Norme NF.T.30.071 (Dégradation des surfaces peintes).

(1) En cours d'élaboration.

RENOVACION DE LA PRESA Y CENTRAL HIDROELECTRICA Dr GABRIEL TERRA

DIAGNOSTICO DE LAS INSTALACIONES

ANEXO N° 8

VERIFICACION DE LAS ESTACIONES DE ACEITE DE LOS GRUPOS DE LA USINA GABRIEL TERRA

ELECTRICITE DE FRANCE

INTERNATIONAL

68, rue du Faubourg Saint-Honore
75008 PARIS
Tél. 764.22.22
Telex EDF AE 660 434 F

Junio 1984

CENTRAL GABRIEL TERRA (Uruguay)

ANEXO 8

REGULACION DE VELOCIDAD

I - CALCULO DE LOS VOLUMENES

Volumen de aire almacenado en el acumulador, con presión normal (20 bares)

1) en la parte cilíndrica

$$\frac{21,75 \times 21,75 \times 3,24}{4} \times 33,28 = 12\ 365\ dm^3$$

2) en la parte esférica

$$V = \frac{1}{3}\ h^2\ (3\ R - h)$$

$$\frac{3,14 \times 4,57 \times 4,57\ (3 \times 21,34 - 4,57)}{3} = 1\ 300\ dm^3$$

Volumen total de aire a una presión de 20 bares

$12\ 365 + 1\ 300 = 13\ 665\ dm^3$

Volúmenes del cilindro de maniobra de las palas

1) en cierre $\frac{(17,27^2 - 4,06^2) \times 3,14 \times 2,60}{4} = 575\ dm^3$

2) en apertura $\frac{(17,27^2 - 2,29^2) \times 3,14 \times 2,60}{4} = 598\ dm^3$

Se admitirá, que en una parada de grupo, se vuelven a abrir las palas (22º) por medio de una semicarrera del cilindro, lo cual consume $598 \times \frac{22 - 6}{32-6} = 368\ dm^3$

Volúmenes de los cilindros de maniobra del mecanismo de distribución

Volumen de la cámara situada por el lado opuesto al vástago de maniobra:

$$\frac{5,97 \times 5,97 \times 3,14 \times 5,08}{4} = 142 \text{ dm}^3$$

Volumen de la cámara situada por el lado del vástago de maniobra:

$$142 - \frac{1,52 \times 15,2 \times 3,24 \times 5,08}{4} = 133 \text{ dm}^3$$

Volumen de aceite utilizado para una maniobra completa (apertura o cierre) con la totalidad de la carrera:

$142 + 133 = 275 \text{ dm}^3$

II - POSIBILIDADES BRINDADAS POR EL ACUMULADOR AIRE-ACEITE (bombas de regulación fuera de servicio)

1) Expansión isoterma

Habida cuenta del volumen de aire (13 655 dm^3 a 20 bares), del volumen de aceite necesario para un cierre total del mecanismo de distribución y de las palas, seguido de la reapertura de estas últimas (275 + 575 + 368 = 1 218 dm^3), así como del tiempo de maniobra (9 segundos en cierre rápido) se puede considerar que, en caso de fallo de las bombas de regulación o de falta de corriente alternada, la expansión del aire se efectúa con temperatura constante: p x v = constante.

Se designará:

* Vo = volumen de aceite necesario para el cierre total; Vo = 1 218 dm^3

* Pl = presión de funcionamiento normal o de intermitencia inferior; Pl = 20 bares (las bombas se descargan a 21 bares)

* Vl = Volumen de aire correspondiente a Pl; Vl = 13 655 dm^3

* P2 y V2 = presión y volumen comprobados en el momento de la puesta en acción de la protección "presión demasiado reducida". Es preciso que P2 sea inferior a la presión residual comprobada con motivo de un cierre completo del mecanismo de distribución y de las palas seguida de una reapertura de estas últimas, todo ello actuando a partir de P1. Para tal finalidad se tomará:

$$V2 - V1 = 1{,}2\ Vo$$

* P3 y V3 = presión y volumen obtenidos tras cierre del mecanismo de distribución y de las palas y reapertura de estas últimas, todo ello realizado en caso de funcionamiento de la protección "presión demasiado reducida". Se tomará un coeficiente de seguridad, que nos conduce a proponer la opción de :

$$V3 - V2 = 1{,}5\ Vo$$

Se puede entonces proceder al cálculo de:

$$V2 - V1 = 1{,}2\ Vo$$

$$V2 = V1 + 1{,}2\ Vo = 13\ 665 + 1{,}2 \times 1\ 218 = 15\ 127\ dm^3$$

$$\text{de donde } P2 = \frac{P1\ V1}{V2} = \frac{20 \times 13\ 665}{15\ 127} = 18{,}06 \text{ bares}$$

También se calcula:

$$V3 - V2 = 1{,}5\ Vo$$

$$V3 = V2 + 1{,}5\ Vo$$

$$V3 = 14\ 697 + 1{,}5 \times 1\ 218) = 16\ 954\ dm^3$$

$$\text{de donde } P3 = \frac{P1\ V1}{V3} = \frac{20 \times 13\ 665}{16\ 954} = 16{,}1 \text{ bares}$$

2) Expansión politrópica

Si se considera que la expansión es de carácter politrópica, será preciso utilizar la ecuación:

$$p \times v^{\gamma} = \text{constante}$$

Para pequeños acumuladores de membrana, con presión superior a 80 bares, se toma de costumbre:

γ = 1,35 cuando el tiempo de expansión es inferior a 5 segundos

γ = 1,3 cuando el tiempo es superior a 5 segundos

pero encambio se adopta γ = 1,25 cuando la presión es inferior a 80 bares.

En el caso presente, nos parece razonable adoptar γ = 1,2 habida cuenta de la presión (20 bares) y del tiempo de expansión (9 segundos). De este modo podremos encontrar:

$$P2 = P1\left(\frac{V1}{V2}\right)^{\gamma}$$

$$P2 = 20 \times \left(\frac{13\ 665}{15\ 127}\right)^{1,2} = 17,7 \text{ bares}$$

$$P3 = P1\left(\frac{V1}{V3}\right)^{\gamma}$$

$$P3 = 20 \times \left(\frac{13\ 665}{16\ 954}\right)^{1,2} = 15,4 \text{ bares}$$

De hecho, este último valor debe ser un poco distinto ya que a 16,9 bares (245 psi) la maniobra de las palas queda bloqueada, lo cual consume una menor cantidad de aceite.

3) <u>Disminución del nivel de aceite</u>

Disminución del nivel correspondiente a la protección "presión demasiado reducida" (P2) calculada anteriormente

$$\frac{1,2 \times 1\ 218 \times 4}{21,75 \times 21,75 \times 3,14} = 3,93 \text{ dm}$$

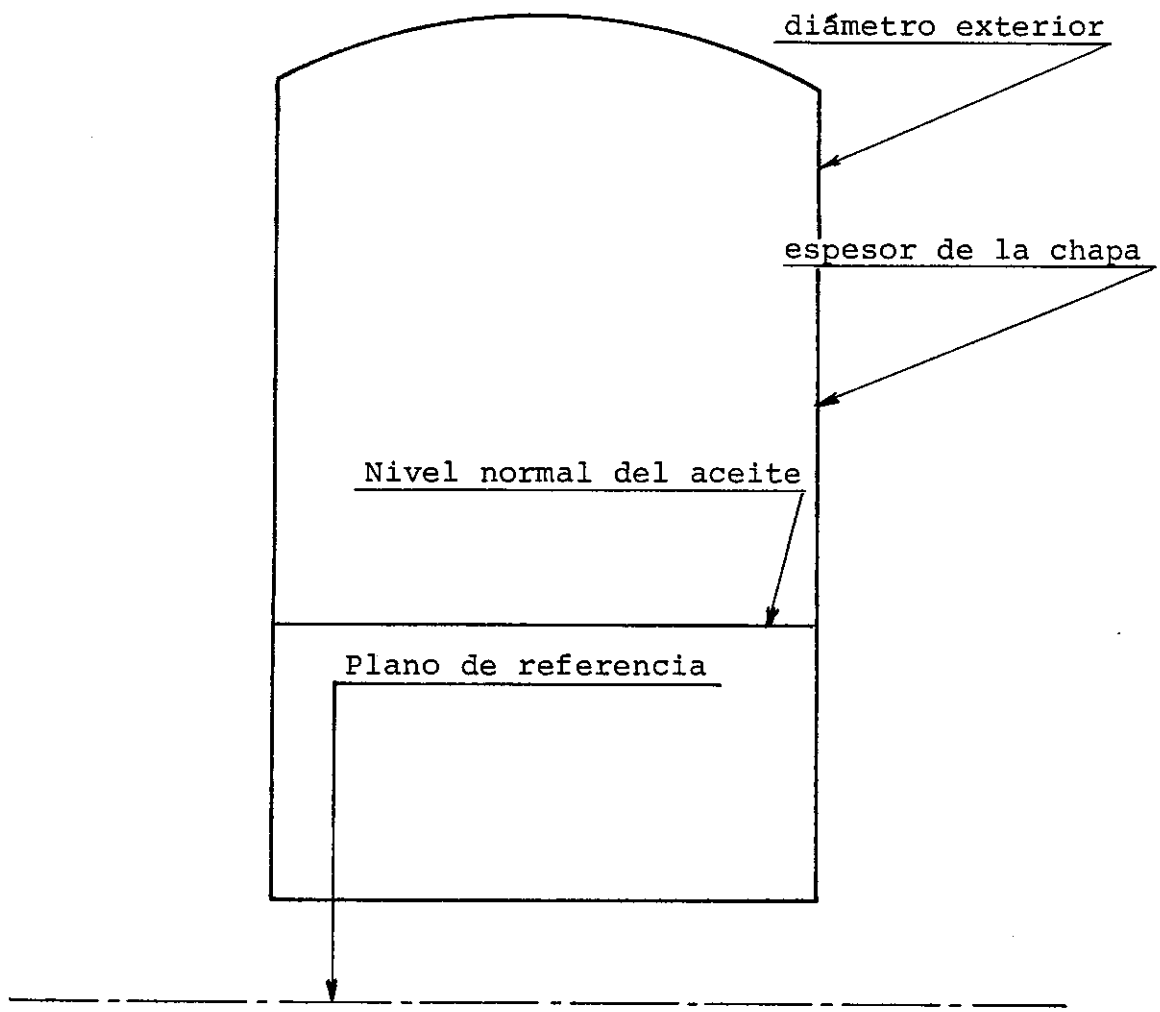
Disminución del nivel tras parada por intervención de la protección "presión demasiado reducida" (P2) calculado anteriormente

$$\frac{1,5 \times 1\ 218 \times 4}{21,75 \times 21,75 \times 3,14} = 4,92 \text{ dm}$$

CENTRAL GABRIEL TERRA (URUGUAY)

Regulación de velocidad

Acumulador Aire-aceite



Cálculo del diámetro interior:

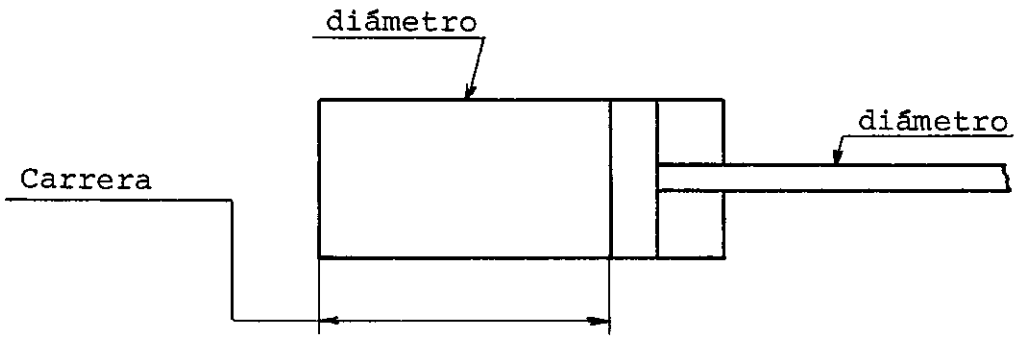
Cálculo de la altura del cilindro que contiene aire:

CENTRAL GABRIEL TERRA (URUGUAY)

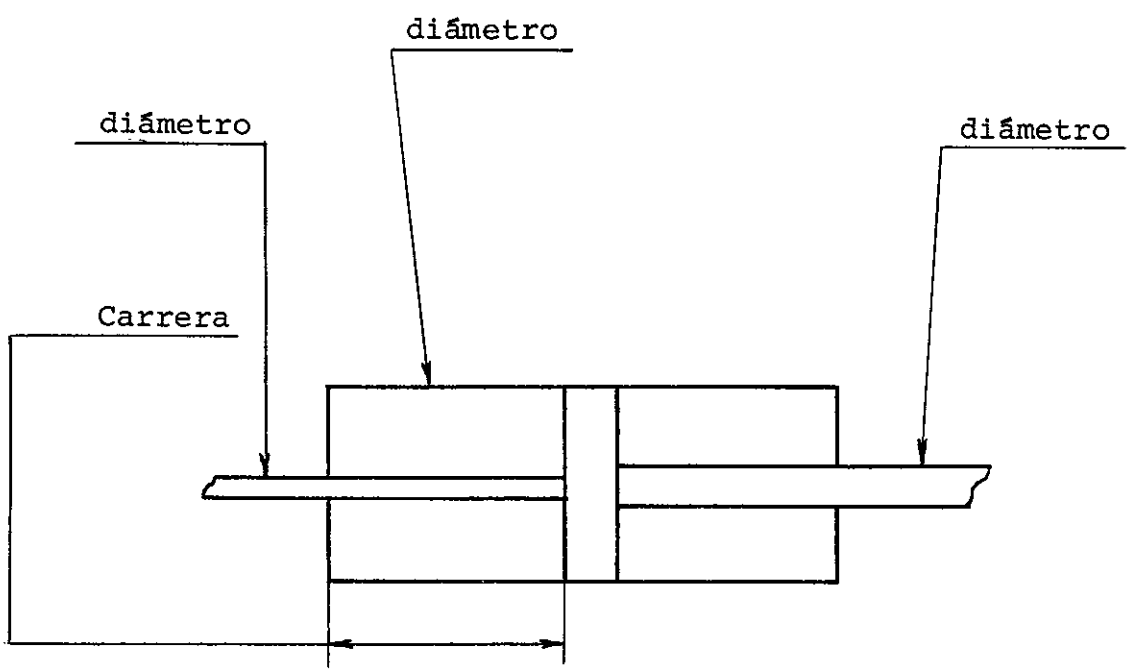
Regulación de velocidad

- Cilindros de maniobra del mecanismo de distribución

Existen dos cilindros idénticos: uno de empuje y otro de tracción



- Cilindro de maniobra de las palas



CENTRAL GABRIEL TERRA (URUGUAY)

ANEXO 8 bis

FACTORES DE CONVERSION

1 HP = 0,7457 kW

1 galón = 3,78541 litros

1 psi = una libra-fuerza por inch cuadrado = 0,0689476 bares
valor redondeado a 0,069 bares

1" = 25,4 mm

1' = 12" = 304,8 mm

(7) Plan de calcul (Les chiffres entre parenthèses renvoient aux chapitres correspondants.)

ELEMENTS DE BASE

ELEMENTS DE CORRECTION OU D'APPRECIATION

1 _ Choix d'une vitesse

Basse et moyenne pression : $0{,}30 < V < 1{,}20$ m/s
Haute pression $V < 3{,}50$ m/s

→ Dimensions des pertuis

← Moyens de dégrillage.
← Nature des apports.
← Perte d'énergie consentie : $\frac{h}{H} W$

2 _ Ecartement des barreaux (3.1.1.1)

Pelton $d = 30$ à 40 mm
Francis $d = \left(30 + 70 \frac{Qm^3/s}{100} \times \frac{200}{NS}\right)$ mm
Kaplan $d = \left(50 + \frac{100D}{6}\right)$ mm

← Conditions liées au cours d'eau (3.1.1.3)
← Service de la pêche (3.1.1.2)

3 _ Position des grilles (3.1.2)

Prendre si possible 30° environ par rapport à la verticale

4 _ Choix de la charge de calcul (3.1.3.1)

5 _ Choix de la forme des barreaux (4.1)

4.1.2 : forme recommandée

→ Charge par barreau

Pertes de charge : (3.3)

ESCANDE $h = \beta \frac{V^2}{2g}$

ou

THOMA $h = K \left(\frac{t}{d}\right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{V_0^2}{2g}$

6 _ Dimensions du barreau : Pour calcul R.D.M : tableau ci-dessous ou tableau 18

	Obstruction totale	Charge constante
Panneau encastré	$\mathcal{M}_x = \left(\frac{pl}{2} + 3\frac{p_1 l}{20}\right)x - \left(\frac{p}{12} + \frac{p_1}{30}\right)l^2 - \frac{x^2}{6}\left(3p + \frac{p_1 x}{l}\right)$ Maximum pour $x = l$	$\mathcal{M}_{max} = \frac{Cl}{12}$ pour $x = 0$ et $x = 1$ $\mathcal{M} = 0$ pour $x = 0{,}21l$
Panneau posé	$\mathcal{M}_x = \frac{1}{6}(p_1 + 3p)x - p\frac{x^2}{2} - \frac{p_1}{6l}x^3$ Maximum pour $x = -\frac{3pl + l\sqrt{3[p^2(p_1+p)^2 + p(p_1+p)]}}{3p_1}$	$\mathcal{M}_{max} = \frac{Cl}{8}$ pour $x = \frac{l}{2}$

Stabilité : (3.2.2)

Barreaux : $f_v = M\sqrt{\frac{gE}{\gamma}} \times \frac{\rho}{L^2}$

avec $e = \sqrt{\frac{I_0}{A}}$ et $f = fv \times \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma + \frac{d}{t}\gamma'}}$

Tourbillons : $\varphi = \frac{St}{l} V_0$

$f_0 \geq \varphi_0$

$\mathcal{M}_{max} = r_{max} \frac{l}{V}$

$r_{max} \leqslant \frac{2}{3} Re$

→ Dimensions des barreaux

7 _ Choix du métal (4.3.1)

← Appuis transversaux intermédiaires ?
← Choc des corps flottants (3.1.3.2) $F \# PV_1$

8 _ Entretoises (4.2) $r = Re\left(1{,}23 - 0{,}0153\frac{L}{t}\right)$

4.2.3.2 mode d'assemblage recommandé

Courbes N° 4.5.7

9 _ Assemblage des panneaux entre eux (4.4)

10 _ Protection corrosion (4.5.)